

Analisis Perencanaan Plts On Grid Menggunakan Helioscope (Studi Kasus PLTS On Grid 40 KWp Di Gedung Asrama Putri Universitas Airlangga)

Fakhriza Anwar^{*)1}, Tri Rijanto²

¹²Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

^{*)}Corresponding author, fakhriza.19021@mhs.unesa.ac.id

Abstrak

Sistem distribusi tenaga listrik adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang Pengembangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan langkah penting dalam transisi energi Indonesia menuju sumber energi yang lebih berkelanjutan. Perusahaan-perusahaan pembangkit listrik (EPC) memiliki peran krusial dalam merancang dan menawarkan solusi PLTS yang efisien. Dalam penawaran proyek PLTS, perangkat lunak HelioScope digunakan sebagai alat bantu untuk menghitung potensi energi surya. Namun, kredibilitas HelioScope dalam pengembangan PLTS di Indonesia perlu diteliti. Penelitian ini bertujuan untuk memvalidasi dan memverifikasi hasil HelioScope, sehingga EPC dapat menggunakan perangkat lunak tersebut dengan percaya diri. Penelitian ini juga membandingkan kinerja PLTS dengan hasil simulasi HelioScope untuk mengevaluasi keandalannya. Penelitian dilakukan pada PLTS 40 Kwp di Asrama Putri Universitas Airlangga. Proses perencanaan melibatkan pengumpulan data dan survei lapangan sebagai dasar perhitungan dan simulasi menggunakan HelioScope. Hasil perbandingan menunjukkan akurasi tinggi hingga 90%, menunjukkan keandalan HelioScope dalam merencanakan PLTS. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam memahami kredibilitas HelioScope dalam pengembangan PLTS di Indonesia. Hasilnya menjadi acuan bagi EPC dalam menggunakan HelioScope sebagai alat bantu yang dapat diandalkan. Perbandingan kinerja PLTS dengan simulasi HelioScope juga penting untuk mengevaluasi efektivitas dan akurasi perangkat lunak tersebut

Abstract

The development of solar power plants (PLTS) is an essential step in Indonesia's energy transition towards more sustainable energy sources. Power generation companies, widely known as Engineering Procurement and Construction companies (EPC), are crucial in designing and offering efficient solar power solutions. In the Solar Power Plant project offering, the HelioScope software is used to calculate solar energy potential. However, HelioScope's credibility in developing PLTS in Indonesia needs to be examined. This study aims to validate and verify the results of HelioScope so that EPC can use the software confidently. This research also compares the performance of PLTS with HelioScope simulation results to evaluate its reliability. The study was conducted on a 40 Kwp PLTS at the Airlangga University Girls Dormitory. The planning process involves data collection and field surveys as a basis for calculations and simulations using HelioScope. The comparison results show a high accuracy of up to 90%, demonstrating the reliability of HelioScope in planning PLTS. This research contributes to understanding HelioScope's credibility in developing PLTS in Indonesia. The results become a reference for EPC in using HelioScope as a reliable tool. Comparison of PV mini-grid performance with HelioScope simulation is also essential to evaluate the effectiveness and accuracy of the software.

INFO.

Info. Artikel:

No. 455

Received. August, 3, 2023

Revised. August, 15, 2023

Accepted. August, 18, 2023

Page. 724 – 737

Kata kunci:

- ✓ PLTS
- ✓ EPC
- ✓ HelioScope
- ✓ Performance Ratio

PENDAHULUAN

Pertumbuhan ekonomi, infrastruktur, dan jumlah penduduk yang terus meningkat meningkatkan kebutuhan energi negara-negara berkembang terutama Indonesia. Permintaan energi Indonesia meningkat sebesar 65% dari tahun 2000 hingga 2014. Bahkan diperkirakan akan meningkat sebesar 80% pada tahun 2030. Menurut data sebelumnya, Indonesia membutuhkan 234,5 TWh energi pada tahun 2020. Ini menunjukkan bahwa usia meningkatkan permintaan energi. Kebutuhan energi yang meningkat disebabkan oleh sejumlah faktor. Diantaranya, pertumbuhan populasi yang semakin pesat, pertumbuhan sektor pembangunan infrastruktur, teknologi, dan ekonomi, serta perkembangan sektor industri yang semakin meningkat. Tidak ada pasokan energi yang cukup untuk memenuhi permintaan yang meningkat untuk energi, terutama untuk energi listrik di era modern [1]. Di Indonesia secara geografis memiliki pancaran sinar matahari yang termasuk banyak setiap tahunnya. Karena hal tersebut penggunaan energi alternatif sangatlah penting jika digunakan. Dengan rata-rata radiasi harian di Indonesia sebesar 4.61 kWh/m²/hari. Salah satu faktor penting dalam pertimbangan penggunaan PLTS atap adalah potensi radiasi matahari dan *temperature* pada suatu daerah. Data menunjukkan bahwa temperatur udara di Surabaya berada pada kisaran 24.0° C – 36.0° C. Besarnya potensi radiasi matahari yang dapat dikonversi oleh sel surya dinyatakan dengan besaran radiasi matahari global (*Global horizontal irradiation*). Radiasi global tersebut terdiri dari komponen radiasi langsung (*direct*), radiasi pantulan dan radiasi hamburan (*diffuse*) [2].

Energi surya merupakan energi yang potensial dikembangkan di Indonesia mengingat Indonesia terletak di daerah khatulistiwa. Energi surya yang mampu dibangkitkan di seluruh daratan Indonesia adalah 4,8 kWh/m²/hari atau setara dengan 112.000 GWp [3]. Karakteristik penyinaran matahari berbeda untuk setiap lokasi dipermukaan bumi. Karakteristik tersebut mencakup potensi sinar matahari, pola cuaca, tipe radiasi yang dominan, temperatur lingkungan dan lain sebagainya. Sementara energi keluaran dari sistem PLTS dipengaruhi oleh karakteristik penyinaran matahari. Artinya, sistem PLTS yang sama jika dipasang di dua lokasi yang berbeda belum tentu menghasilkan jumlah energi yang sama. Oleh karena itu, implementasi PLTS di suatu tempat semestinya dimulai dari perencanaan yang meliputi analisa potensi penyinaran surya di lokasi terkait [4].

Dengan adanya potensi yang tinggi tersebut, sudah selayaknya pengembangan energi surya sebagai EBT melalui penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Indonesia lebih diprioritaskan dibandingkan jenis EBT lainnya. Selain itu perkembangan teknologi PLTS juga terus mengalami peningkatan, seiring dengan tingkat efisiensi modul PV yang semakin baik dan biaya investasi awal dari pembangunan PLTS yang semakin murah seharusnya lebih mudah dalam merealisasikan pemanfaatan energi surya di Indonesia [5].

Dalam mendukung transisi energi Indonesia menuju sumber energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan, pengembangan pembangkit listrik berbasis energi terbarukan, seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), menjadi sangat penting. Perusahaan-perusahaan pembangkit listrik atau EPC (*Engineering, Procurement, & Construction*) memiliki peran krusial dalam mewujudkan pembangunan infrastruktur energi terbarukan di Indonesia. Perkembangan perusahaan pengembang PLTS di Indonesia mengalami pertumbuhan yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Perusahaan-perusahaan ini harus menghadapi tantangan dalam merancang dan menawarkan solusi PLTS yang efisien dan menguntungkan bagi pelanggan mereka. Dalam proses penawaran proyek PLTS, perusahaan-perusahaan ini mengandalkan berbagai alat dan perangkat lunak sebagai pertimbangan awal untuk menghitung potensi energi surya yang dapat dihasilkan [6]. Salah satu perangkat lunak yang banyak digunakan oleh pelaku bisnis PLTS di Indonesia adalah HelioScope. HelioScope program yang bersifat open software baru yang berbasis website. HelioScope merupakan produk dari Folsom Lab USA yang digunakan untuk mendesain sistem fotovoltaik seperti beberapa fitur PV Syst serta menambahkan fungsionalitas desain AutoCAD, yang memungkinkan perancang untuk melakukan desain lengkap pada satu paket [7].

Namun, dengan perkembangan teknologi yang pesat, dirasa penting untuk melakukan penelitian tentang kredibilitas dari perangkat lunak HelioScope dalam konteks pengembangan PLTS di Indonesia. Penelitian ini akan melihat sejauh mana hasil dari HelioScope dapat dipercaya dan sejauh mana kecocokan dengan kondisi riil di lapangan. Dengan memvalidasi dan memverifikasi hasil yang

dihasilkan oleh HelioScope, perusahaan EPC dapat lebih percaya diri dalam menggunakan perangkat lunak tersebut sebagai alat bantu dalam merancang dan menawarkan solusi PLTS kepada pelanggan.

Sistem PLTS terinterkoneksi (*On-Grid*) atau yang disebut dengan *Grid Connected PV System* adalah sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari untuk menghasilkan listrik. Dan sesuai dengan namanya, maka sistem ini akan dihubungkan dengan jaringan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi matahari melalui modul surya atau photovoltaic modul yang menghasilkan listrik semaksimal mungkin. Sistem ini juga dianggap ramah lingkungan dan bebas emisi. Sistem PLTS terinterkoneksi juga merupakan sebuah solusi green energi bagi masyarakat perkotaan baik perkantoran maupun perumahan yang bertujuan untuk dapat memperkecil tagihan rekening listrik dari PLN dan dapat memberikan nilai tambah kepada pemiliknya [8]. Sedangkan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (*Off-Grid*) merupakan sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari tanpa terhubung dengan jaringan PLN atau dengan kata lain satu- satunya sumber pembangkitnya yaitu hanya menggunakan radiasi matahari dengan bantuan panel surya atau photovoltaic untuk dapat menghasilkan energi listrik sistem PLTS Off-Grid sendiri juga hanya dimanfaatkan untuk daerah yang tidak terjangkau pasokan listrik dari PLN seperti daerah pedesaan. PLTS sistem Hybrid merupakan kolaborasi antara 2 atau lebih sistem pembangkit yang bertujuan menggabungkan beberapa sumber pembangkit guna untuk menjadi pembangkit yang handal dengan saling menutupi kelemahan masing-masing baik secara teknis maupun ekonomis [9].

HelioScope merupakan sebuah perangkat lunak terbuka dengan berbasis sebuah website yang dikembangkan oleh Lab Folsom dari USA yang diperuntukan untuk melakukan perancangan dari sebuah sistem, yang memungkinkan perancang untuk melakukan desain dan rekayasa array surya yang lengkap. Luaran yang dihasilkan dari simulasi menggunakan *software HelioScope* yaitu data potensi energi rata rata yang mampu dihasilkan oleh PLTS, data skematik line diagram dari PLTS, data analisis shading, dan data rugi rugi (*losses*). Perangkat lunak ini memungkinkan pengguna untuk memprediksi produksi energi yang menghitung berdasarkan kerugian akibat cuaca serta iklim. Aspek-aspek seperti shading, pengabelan, efisiensi komponen, ketidakcocokan panel, serta penggunaan lama (penuaan) dapat pula dianalisis guna memberikan rekomendasi untuk peralatan serta tata letak susunan. Program ini menampilkan produksi tahunan, kumpulan data cuaca, rasio kinerja, serta parameter sistem lainnya untuk hasil simulasi [10].

METODE PENELITIAN

Rancangan Penelitian

Tugas akhir ini dimulai dengan studi literatur untuk memahami dasar teori pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), seperti prinsip kerja, sistem-sistem yang ada, komponen-komponen yang diperlukan, dan metode evaluasi kinerja PLTS. Studi literatur dilakukan dengan mengacu pada berbagai referensi, termasuk buku dan jurnal. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan data yang diperlukan untuk tugas akhir ini, seperti data lokasi penelitian, tingkat iradiasi matahari dilokasi, beban harian, dan data lainnya [11][12]. Setelah itu, berdasarkan pertimbangan kebutuhan dan anggaran yang tersedia, dilakukan perancangan desain PLTS yang akan diimplementasikan, yaitu PLTS on grid dengan kapasitas 1350 Wp. Tahap berikutnya adalah instalasi komponen-komponen sesuai dengan desain yang telah dirancang. Setelah instalasi selesai, dilakukan pengujian panel surya untuk memeriksa kondisinya. Selanjutnya, dilakukan pengujian operasional PLTS secara keseluruhan dan evaluasi kinerja inverter. Setelah PLTS beroperasi, dilakukan pemantauan selama dua bulan untuk mengevaluasi kinerja atau performa PLTS. Tahap terakhir dari penelitian ini adalah penarikan kesimpulan dari data yang telah dianalisis, serta memberikan saran untuk pengembangan penelitian serupa di masa depan [13].

Rancangan penelitian dapat dijelaskan dengan diagram alir dari rancangan penelitian pada penelitian ini [14], seperti yang tertera pada gambar berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tempat dan Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian tugas akhir ini dilakukan di sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang berlokasi di Asrama Putri Universitas Airlangga Kampus C, Surabaya, Jawa Timur selama bulan Mei dan Juni.

Perhitungan Jumlah Panel pada PLTS

Cara yang kedua adalah menghitung dengan cara menyesuaikan dengan kapasitas yang dibutuhkan. Penghitungan jumlah modul panel surya yang dibutuhkan dapat menggunakan persamaan berikut [15]:

$$Jumlah\ Panel\ Surya = \frac{P_{watt\ peak} \times DC\ to\ AC\ ratio}{P_{max}} \quad (1)$$

Nilai DC/AC ratio yang diinginkan berkisar sebesar 1,02-1,2. Sehingga daya total panel surya akan melebihi kapasitas inverter. Hal ini perlu dilakukan untuk menjaga nilai efisiensi kerja inverter berada di range maksimal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Rancangan Sistem PLTS

Panel surya yang digunakan pada sistem kali ini adalah panel surya tipe monocrystalline dengan merk Trina Solar yang berkapasitas daya maksimum sebesar 550 Wp. Tipe ini dipilih karena dari bahan ini memiliki tingkat efisiensi yang paling besar. Serta bahan ini adalah jenis bahan yang paling umum digunakan. Daya maksimum yang dipilih pada panel surya ini adalah sebesar 550 Wp. Tipe ini dipilih karena daya 550 Wp adalah daya terbesar yang paling mudah ditemui di pasaran. Dengan daya tersebut, sistem yang dibangun akan lebih efisien baik secara kapasitas maupun penggunaan area yang tersedia. Spesifikasi dari panel surya ini diperoleh dari datasheet produk seperti yang terdapat pada tabel dibawah ini :

Tabel 1. Spesifikasi Panel Surya Trina Solar 550wp

Spesifikasi	Nilai
Merk	TrinaSolar
Daya Maksimum (P max)	550 Wp
Tegangan Rangkaian Terbuka (Voc)	37,9 V
Tegangan Rangkaian Terbuka (Vmp)	31,6 V
Arus Hubung Singkat (Isc)	18,52 A
Arus Daya Maksimum (Imp)	17,4 A
Efisiensi	21 %
Luas Permukaan	2,6 m ²
Loses Temp Voc	-0.25%/°C
Loses Temp Isc	0.04%/°C

Menghitung Jumlah Panel Surya Yang Diperlukan

Terdapat 2 cara yang dapat dilakukan dalam menentukan banyak panel surya yang bisa digunakan, cara pertama adalah dengan memaksimalkan penggunaan luas area dengan menghitung luas area yang tersedia dan dibagi dengan luas dari sebuah panel surya. Dengan begitu akan didapati kapasitas maksimal yang dapat ditampung oleh luas atap tersebut. Namun cara ini juga perlu memperhatikan kekuatan dari struktur atap dan bangunan tersebut, karena dengan memaksimalkan luas atap, bobot yang harus ditahan oleh atap dan struktur bangunan juga akan menjadi maksimal. Sehingga perlu diadakannya kajian lebih lanjut terkait kekuatan struktur yang mampu ditopang oleh bangunan tersebut. Jika dilakukan plotting panel surya dengan memaksimalkan luas atap bangunan Asrama Putri Universitas Airlangga dan mengesampingkan beban yang mampu ditopang oleh struktur atap dan bangunan, maka didapati kapasitas yang mampu ditampung oleh atap bangunan tersebut adalah sebesar 50,6 kW dengan panel surya yang diperlukan sebanyak 92 panel surya.



Gambar 2. *Plotting* Panel Surya Di Keseluruhan Atap Bangunan

Menentukan Inverter

Inverter yang digunakan dalam pengimplementasian PLTS ini adalah inverter on grid merek Huawei seri SUN-2000 40 KTL M2. Tipe inverter ini dipilih karena tipe ini merupakan salah satu tipe dengan kualitas (grade) terbaik yang ada dipasaran, selain dengan klaim efisiensinya yang sebesar 98,7%, tipe ini juga dibekali dengan sistem monitoring yang terintegrasi dengan perangkat lunak dari Huawei yaitu Fusion Solar. Sehingga akan memudahkan dalam melakukan monitoring dari sistem tersebut. Spesifikasi lebih lengkap dari inverter ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2. Spesifikasi Inverter

Spesifikasi	Nilai
Merk	Huawei
Tipe	SUN2000-40KTL-M3
Tegangan Input Maksimal	1100 V
Arus Input Maksimal	40 A
Tegangan Starting	200 V
Daya Output Maksimal	40.000 W
Tegangan Output	380 VAC/3 phasa
Arus Output Maksimal	63,8 A
Efisiensi	98,7%

Menghitung Banyak String

Dalam menentukan banyak string maksimal dan minimal dari sebuah sistem PLTS, kita memerlukan data tambahan berupa data temperatur udara di sekitar lokasi pemasangan. Dihimpun dari Data Statistik Sektor Kota Surabaya Tahun 2021 yang dikeluarkan oleh Dinas Komunikasi dan Informatika Kota Surabaya data rata-rata suhu udara Kota Surabaya diuraikan dalam Tabel 3 berikut :

Tabel 3. Suhu rata-rata Kota Surabaya

Temperatur	Perak I	Perak II	Juanda
Maksimum	35,3	35,1	35,6
Minimum	24,6	24,4	19,1

Tabel 3. Menjelaskan suhu rata-rata di Kota Surabaya dengan spesifik maksimum - minimal sehingga data ini akan digunakan untuk menghitung maksimal panel pada string dan menghitung jumlah minimum panel surya per string

Perhitungan banyak panel surya yang akan digunakan dalam satu string dapat dilakukan dengan rumus:

$$Max\ Panel\ Per\ String = \frac{V\ input\ max\ inverter}{Voc_{Tmin}} \tag{2}$$

Sehingga jumlah maksimum panel surya per string adalah :

$$Voc_{Tmin} = 37,9 \times (1 + 24,4 - 25) \times (-0,25\% / ^\circ C)$$

$$Voc_{Tmin} = 37,956$$

$$Max\ Panel\ Per\ String = \frac{1100}{37,956}$$

$$Max\ Panel\ Per\ String = 28,9 \cong \mathbf{29\ Panel}$$

Dan jumlah minimum panel surya per string adalah:

$$Voc_{Tmin} = Voc \times (1 + T_{min} - 25) \times Losses\ Temp\ Voc \tag{3}$$

$$Voc_{Tmax} = 37,9 \times (1 + 35,1 - 25) \times (-0,25\% / ^\circ C)$$

$$Voc_{Tmax} = 36,943$$

$$Min\ Panel\ Per\ String = \frac{200}{36,943}$$

$$Min\ Panel\ Per\ String = 5,41 \cong \mathbf{5\ Panel}$$

Dari hasil perhitungan diketahui bahwa jumlah panel surya per string yang dapat diaplikasikan pada sistem ini berada di range 5 - 29 Panel surya. Sehingga sistem ini dapat menggunakan 4 buah string dari 4 buah MPPT yang tersedia dengan masing masing string menggunakan konfigurasi 18 panel dan 19 panel dengan menyesuaikan dengan luas area yang tersedia.

Tabel 1.Spesifikasi String 1-2 Sistem dan 3-4 sistem

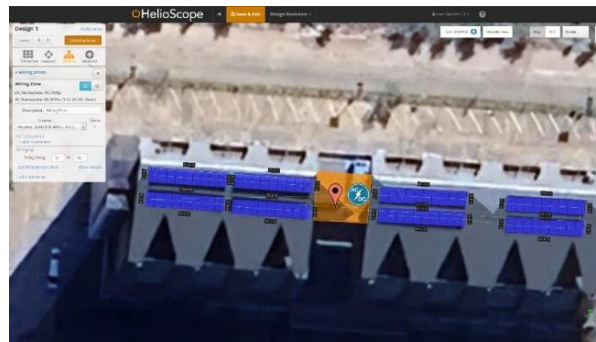
Spesifikasi	Nilai
Merk	TrinaSolar
Jumlah Panel	18 buah
Daya maksimum (P _{max})	9900 Wp
Tegangan rangkaian terbuka (V _{oc})	682,2 V
Tegangan daya maksimum (V _{mp})	568,8 V
Arus hubung singkat (I _{sc})	18,52 A

Arus daya maksimum (I_{mp})	17,4 A
Luas permukaan	46,8 m ²

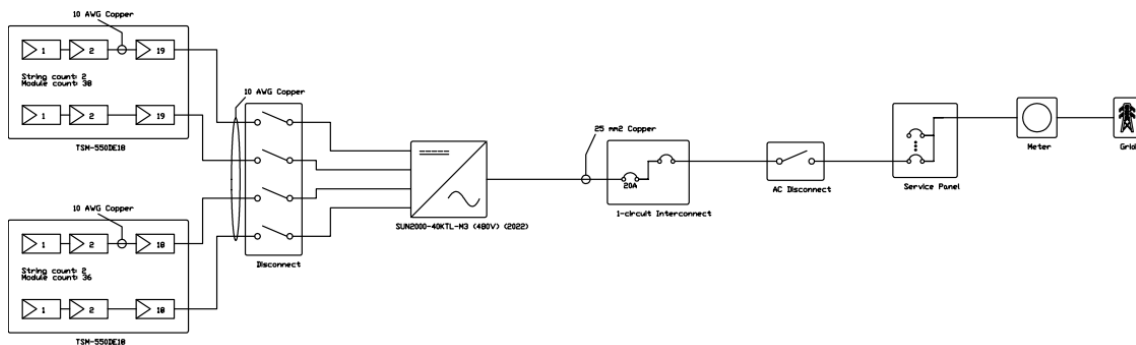
Tabel 4. Menjelaskan terkait spesifik string 1-2 sistem dan 3-4 sistem yang digunakan pada PLTS dengan jumlah panel maksimal 18 buah

Menyusun Layout Panel Surya Di Atap Gedung

Pada sistem ini penyusunan layout panel surya dilakukan menggunakan perangkat lunak HelioScope dikarenakan selanjutnya akan dilakukan simulasi system di perangkat lunak yang sama.



Gambar 1. Layout PV di HelioScope



Gambar 2. Single Line Diagram

Gambar diatas menjelaskan terkait notasi yang disederhanakan untuk sebuah sistem tenaga listrik yang digunakan pada sistem PLTS ini.

Simulasi Sistem Menggunakan HelioScope

Setelah seluruh bagian system ditentukan dan penyusunan layout dilakukan, perangkat lunak HelioScope akan melakukan simulasi terkait efektifitas, produksi bulanan, potensi bayangan hingga kerugian system dari system yang sudah kita rencanakan. Hasil rangkuman simulasi menggunakan perangkat lunak HelioScope adalah sebagai berikut :

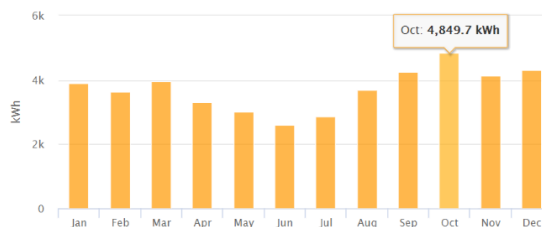
Tabel 3. Data Simulasi Sistem

Module DC Nameplate	40,7 kW
Inverter AC Nameplate	40,0 kW
Load Ratio (DC/AC)	1.02
Annual Production	44,55 MWh
Performance Ratio	76,5 %
kWh/kWp	1.094,6

Data produksi bulanan system dari hasil simulasi adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Produksi Bulanan Sistem

Month	GHI (kWh/m ²)	POA (kWh/m ²)	Shaded (kWh/m ²)	Nameplate (kWh)	Grid (kWh)
January	125.7	126.2	126.2	4,863.6	3,900.5
February	123.3	116.8	116.7	4,491.0	3,631.5
March	144.8	125.9	125.9	4,802.8	3,959.3
April	138.5	104.7	104.7	3,956.5	3,318.3
May	154.4	95.5	95.5	3,548.2	3,001.0
June	147.5	83.1	83.1	3,047.5	2,609.3
July	165.8	91.8	91.8	3,361.6	2,867.9
August	178.5	117.7	117.7	4,401.3	3,701.6
September	170.5	137.0	137.0	5,211.1	4,266.4
October	171.8	157.9	157.8	6,066.5	4,849.7
November	133.6	133.8	133.8	5,153.2	4,130.9
December	135.9	139.7	139.7	5,389.6	4,311.9



Gambar 5. Grafik Produksi Sistem

Pengujian Panel Surya

Pengujian tegangan open circuit dan arus short circuit bertujuan untuk mendapatkan data yang diperlukan untuk perhitungan daya output string panel surya. Pengujian ini dilakukan selama 2 bulan yaitu Bulan Mei dan Juni dengan interval waktu pengambilan data setiap 1 jam pada jam jam efektif. Hasil data pengujian ini tertera pada tabel berikut:



Gambar 6. Dokumentasi Pengujian

Tabel 5. Data Pengukuran String 1

Jam	Mei			Juni		
	Iradiasi (W/m ²)	Isc (A)	Voc (V)	Iradiasi (W/m ²)	Isc (A)	Voc (V)
6:00	19,95	0,973	505,38	13,44	0,2857	498,51
7:00	111,96	1,576	533,48	87,48	1,3220	528,12
8:00	297,29	2,868	546,86	265,81	2,3917	539,39
9:00	488,10	5,071	536,33	447,31	4,4107	534,89
10:00	622,17	6,539	528,83	608,85	5,7297	529,91
11:00	705,43	7,819	525,85	701,78	6,8730	528,18
12:00	712,90	7,726	526,57	759,22	7,0820	528,10
13:00	703,81	6,955	526,81	753,72	6,1953	531,03
14:00	622,63	5,284	532,65	638,76	4,8170	534,70
15:00	414,89	3,260	537,41	454,36	2,6967	538,76
16:00	268,59	1,505	527,41	268,91	1,2630	524,75
17:00	85,58	0,594	487,76	97,00	0,2627	489,15

Tabel 6. Data Pengukuran String 2

Jam	Mei			Juni		
	Iradiasi (W/m ²)	Isc (A)	Voc (V)	Iradiasi (W/m ²)	Isc (A)	Voc (V)
6:00	19,95	0,470	506,65	13,44	0,3240	500,16
7:00	111,96	1,631	536,25	87,48	1,3700	529,30
8:00	297,29	2,870	552,39	265,81	2,4147	547,04
9:00	488,10	4,844	548,77	447,31	4,0627	546,04
10:00	622,17	6,675	531,49	608,85	5,8100	530,58
11:00	705,43	7,978	526,95	701,78	7,0043	530,07
12:00	712,90	7,864	527,60	759,22	7,2323	528,91
13:00	703,81	7,044	529,54	753,72	6,3297	532,48
14:00	622,63	5,398	533,14	638,76	4,9320	536,39
15:00	414,89	3,340	540,06	454,36	2,7693	541,85
16:00	268,59	1,564	530,47	268,91	1,3180	527,26
17:00	85,58	0,483	489,72	97,00	0,3100	489,99

Tabel 7. Data Pengukuran String 3							Tabel 8. Data Pengukuran String 4						
Jam	Mei			Juni			Jam	Mei			Juni		
	Iradiasi (W/m ²)	Isc (A)	Voc (V)	Iradiasi (W/m ²)	Isc (A)	Voc (V)		Iradiasi (W/m ²)	Isc (A)	Voc (V)	Iradiasi (W/m ²)	Isc (A)	Voc (V)
6:00	19,95	0,442	539,68	13,44	0,3013	531,57	6:00	19,95	0,458	536,27	13,44	0,3107	529,31
7:00	111,96	1,599	567,48	87,48	1,3383	562,16	7:00	111,96	1,632	567,48	87,48	1,3753	557,68
8:00	297,29	2,936	575,55	265,81	2,4420	572,13	8:00	297,29	3,029	575,55	265,81	2,5280	570,43
9:00	488,10	5,257	567,67	447,31	4,4667	567,20	9:00	488,10	5,371	567,67	447,31	4,5960	567,37
10:00	622,17	6,582	563,32	608,85	5,7733	563,27	10:00	622,17	6,717	563,32	608,85	5,9237	562,56
11:00	705,43	7,847	559,89	701,78	6,8737	563,14	11:00	705,43	8,011	559,89	701,78	7,0287	562,27
12:00	712,90	7,793	560,24	759,22	7,1403	562,77	12:00	712,90	7,978	560,24	759,22	7,3143	561,01
13:00	703,81	6,946	561,19	753,72	6,3077	564,57	13:00	703,81	7,110	561,19	753,72	6,4510	564,76
14:00	622,63	5,332	566,34	638,76	4,9067	567,51	14:00	622,63	5,442	566,34	638,76	4,9553	574,63
15:00	414,89	3,337	569,77	454,36	2,7680	571,89	15:00	414,89	3,199	569,77	454,36	2,6843	574,23
16:00	268,59	1,543	562,77	268,91	1,2987	560,20	16:00	268,59	1,580	562,77	268,91	1,3380	561,69
17:00	85,58	0,473	517,19	97,00	0,3023	517,61	17:00	85,58	0,447	517,19	97,00	0,3127	520,33

Pada tabel di atas menunjukkan bahwa iradiasi matahari selalu berubah-ubah tiap waktu, nilai iradiasi meningkat dari pagi hari dan mencapai puncaknya di siang hari yaitu pada pukul 12.00, kemudian nilainya menurun saat peralihan dari siang ke sore hari.

Daya input didapat dari hasil perkalian iradiasi (W/m²) dengan luas permukaan string panel surya (m²).

$$P_{in} = E \times A \quad (4)$$

Keterangan :

E = Iradiasi

A = Luas Area

Fill factor (FF) adalah rasio antara daya aktual dari panel surya dengan arus dan tegangan maksimal yang mana adalah arus short circuit dan tegangan open circuit. Data pada nameplate menunjukkan bahwa V_{mp} dan I_{mp} panel surya adalah 31,6 V dan 17,4 A serta Voc dan Isc adalah 37,9 V dan 18,52 A. Dari data-data tersebut dapat diketahui nilai fill factor dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$FF = (V_{mp} \times I_{mp}) / (V_{oc} \times I_{sc}) \quad (5)$$

$$FF = (31,6 \times 17,4) / (37,9 \times 18,52)$$

$$FF = 0,783350525$$

Daya output maksimum dari panel surya dapat dihitung dari data hasil pengukuran Voc, Isc, dan nilai fill factor.

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (6)$$

Efisiensi modul panel surya adalah rasio atau perbandingan antara nilai daya output oleh panel surya dengan daya input dari iradiasi matahari.

$$\eta = P_{out} / P_{in} \times 100\% \quad (7)$$

Dengan melalui perhitungan diatas maka didapati :

Tabel 9.Data Hasil Perhitungan Efisiensi String 1

Jam	Mei			Juni		
	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	η (%)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	η (%)
6:00	0,9338	0,39	41%	0,6288	0,11	18%
7:00	5,2395	0,66	13%	4,0939	0,55	13%
8:00	13,9129	1,23	9%	12,4398	1,01	8%
9:00	22,8433	2,13	9%	20,9340	1,85	9%
10:00	29,1174	2,71	9%	28,4942	2,38	8%
11:00	33,0143	3,22	10%	32,8431	2,84	9%
12:00	33,3635	3,19	10%	35,5317	2,93	8%
13:00	32,9381	2,87	9%	35,2741	2,58	7%
14:00	29,1391	2,20	8%	29,8942	2,02	7%
15:00	19,4168	1,37	7%	21,2640	1,14	5%
16:00	12,5700	0,62	5%	12,5849	0,52	4%
17:00	4,0052	0,23	6%	4,5395	0,10	2%

Tabel 10. Data Hasil Perhitungan Efisiensi String 2

Jam	Mei			Juni		
	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	η (%)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	η (%)
6:00	0,9338	0,19	20%	0,6288	0,13	20%
7:00	5,2395	0,69	13%	4,0939	0,57	14%
8:00	13,9129	1,24	9%	12,4398	1,03	8%
9:00	22,8433	2,08	9%	20,9340	1,74	8%
10:00	29,1174	2,78	10%	28,4942	2,41	8%
11:00	33,0143	3,29	10%	32,8431	2,91	9%
12:00	33,3635	3,25	10%	35,5317	3,00	8%
13:00	32,9381	2,92	9%	35,2741	2,64	7%
14:00	29,1391	2,25	8%	29,8942	2,07	7%
15:00	19,4168	1,41	7%	21,2640	1,18	6%
16:00	12,5700	0,65	5%	12,5849	0,54	4%
17:00	4,0052	0,19	5%	4,5395	0,12	3%

Tabel 11. Data Hasil Perhitungan Efisiensi String 3

Jam	Mei			Juni		
	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	η (%)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	η (%)
6:00	0,9338	0,39	41%	0,6288	0,11	18%
7:00	5,2395	0,66	13%	4,0939	0,55	13%
8:00	13,9129	1,23	9%	12,4398	1,01	8%
9:00	22,8433	2,13	9%	20,9340	1,85	9%
10:00	29,1174	2,71	9%	28,4942	2,38	8%
11:00	33,0143	3,22	10%	32,8431	2,84	9%
12:00	33,3635	3,19	10%	35,5317	2,93	8%
13:00	32,9381	2,87	9%	35,2741	2,58	7%
14:00	29,1391	2,20	8%	29,8942	2,02	7%
15:00	19,4168	1,37	7%	21,2640	1,14	5%
16:00	12,5700	0,62	5%	12,5849	0,52	4%
17:00	4,0052	0,23	6%	4,5395	0,10	2%

Tabel 12. Data Hasil Perhitungan Efisiensi String 4

Jam	Mei			Juni		
	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	η (%)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	η (%)
6:00	0,9338	0,19	20%	0,6288	0,13	20%
7:00	5,2395	0,69	13%	4,0939	0,57	14%
8:00	13,9129	1,24	9%	12,4398	1,03	8%
9:00	22,8433	2,08	9%	20,9340	1,74	8%
10:00	29,1174	2,78	10%	28,4942	2,41	8%
11:00	33,0143	3,29	10%	32,8431	2,91	9%
12:00	33,3635	3,25	10%	35,5317	3,00	8%
13:00	32,9381	2,92	9%	35,2741	2,64	7%
14:00	29,1391	2,25	8%	29,8942	2,07	7%
15:00	19,4168	1,41	7%	21,2640	1,18	6%
16:00	12,5700	0,65	5%	12,5849	0,54	4%
17:00	4,0052	0,19	5%	4,5395	0,12	3%

Berdasarkan tabel tersebut daya output panel surya tertinggi adalah 3,44 KW, yang mana lebih rendah dari nameplate yang tertera. Hal tersebut disebabkan karena rata-rata efisiensi aktual perhitungan lebih rendah dari efisiensi yang tertera pada nameplate yakni. Efisiensi aktual hasil perhitungan cenderung lebih kecil daripada efisiensi yang tertera pada nameplate dikarenakan suhu panel surya di lapangan yang lebih tinggi dari suhu pada kondisi STC (*Standart Test Conditions*) yakni 25°C.

Evaluasi Kinerja Inverter

Beberapa parameter yang digunakan dalam evaluasi inverter antara lain tegangan, arus, daya, dan frekuensi output inverter dan daya dari array panel surya.

Tabel 13. Hasil Monitoring Inverter Bulan Mei

Jam	V _{out} (V)			I _{out} (A)			Frekuensi i (Hz)
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T	
6:00	231,16	232,65	230,22	1,38	1,37	1,39	50,44
7:00	231,23	232,61	230,23	5,00	5,00	5,00	50,21
8:00	231,47	232,74	230,43	12,21	41,34	41,24	50,25
9:00	231,67	232,99	230,69	16,02	16,01	16,02	50,26
10:00	231,92	233,40	231,15	20,31	20,30	20,32	50,24
11:00	232,65	234,16	231,88	88,69	87,93	29,90	50,21
12:00	233,84	235,38	233,06	23,69	23,66	23,70	50,40
13:00	232,70	234,02	231,85	21,36	21,33	21,36	50,11
14:00	232,23	233,50	231,38	16,53	16,52	16,53	50,24
15:00	232,37	233,57	231,38	45,15	10,25	10,25	50,28
16:00	232,24	233,55	231,28	4,74	4,74	4,75	50,49
17:00	231,52	233,12	230,74	0,92	0,92	0,94	50,34

Tabel 14. Hasil Monitoring Inverter Bulan Juni

Jam	V _{out} (V)			I _{out} (A)			Frekuensi i (Hz)
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T	
6:00	231,16	232,65	230,22	1,38	1,37	1,39	50,44
7:00	231,23	232,61	230,23	5,00	5,00	5,00	50,21
8:00	231,47	232,74	230,43	12,21	41,34	41,24	50,25
9:00	231,67	232,99	230,69	16,02	16,01	16,02	50,26
10:00	231,92	233,40	231,15	20,31	20,30	20,32	50,24
11:00	232,65	234,16	231,88	88,69	87,93	29,90	50,21
12:00	233,84	235,38	233,06	23,69	23,66	23,70	50,40
13:00	232,70	234,02	231,85	21,36	21,33	21,36	50,11
14:00	232,23	233,50	231,38	16,53	16,52	16,53	50,24
15:00	232,37	233,57	231,38	45,15	10,25	10,25	50,28
16:00	232,24	233,55	231,28	4,74	4,74	4,75	50,49
17:00	231,52	233,12	230,74	0,92	0,92	0,94	50,34

Efisiensi inverter merupakan perbandingan daya output dan daya input dari inverter, dimana daya input inverter merupakan daya yang dihasilkan dari array panel surya. Sehingga nilai efisiensi inverter dari sistem ini dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 15. Perhitungan Efisiensi Inverter

Jam	Mei			Juni		
	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	η (%)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	η (%)
6:00	1,022	0,931	91%	0,714	0,623	87%
7:00	3,602	3,487	97%	3,005	2,893	96%
8:00	6,600	6,466	98%	5,480	5,351	98%
9:00	11,393	11,210	98%	9,702	9,531	98%
10:00	14,458	14,191	98%	12,679	12,464	98%
11:00	17,072	16,801	98%	15,100	14,848	98%
12:00	16,938	16,670	98%	15,618	15,362	98%
13:00	15,218	14,962	98%	13,800	13,575	98%
14:00	11,764	11,559	98%	10,813	10,630	98%
15:00	7,308	7,167	98%	6,097	5,962	98%
16:00	3,433	3,317	97%	2,887	2,774	96%
17:00	0,629	0,551	88%	0,670	0,588	88%

Berdasarkan data perhitungan efisiensi inverter, didapatkan bahwa rata-rata efisiensi inverter sebesar 96% dengan nilai efisiensi tertinggi adalah 98% dan nilai efisiensi terendah adalah 87%. Efisiensi dari hasil perhitungan mendekati dengan yang tertera pada datasheet inverter yakni 98,7%. Nilai efisiensi inverter yang tinggi menandakan bahwa tidak banyak losses dalam pengkonversian listrik DC dari panel surya ke listrik AC.

Performance Ratio Sistem

Tabel 16. Hasil Monitoring Produksi Listrik

Mei		Juni	
Hari Ke -	Produksi Listrik (kWh)	Hari Ke -	Produksi Listrik (kWh)
1	121,51	1	99,52
2	103,68	2	102,75
3	97,86	3	95,42
4	111,68	4	97,99
5	116,19	5	100,34
6	127,41	6	95,86
7	123,58	7	92,81
8	124,93	8	92,12
9	101,13	9	92,24
10	85,88	10	91,87
11	70,35	11	90,95
12	113,55	12	96,57
13	121,03	13	95,88
14	114,3	14	94,01
15	116,6	15	91,51
16	111,6	16	93,15
17	112,98	17	94,52
18	111,48	18	91,92
19	113,68	19	97,25
20	110,44	20	88,36
21	106,62	21	95,67
22	108,26	22	93,15
23	106	23	94,55
24	107,2	24	92,81
25	105,56	25	97,48
26	104,02	26	97,18
27	103,47	27	93,46
28	103,33	28	91,37
29	102,65	29	97,42
30	101,62	30	95,47
31	99,81		
Total	3358,4	Total	2843,6
Total Bulan Mei dan Juni		6202 kWh	
Rata - Rata Harian		101,67 kWh	

Tabel 17. Performance Ratio Sistem PLTS

Mei		Juni	
Hari Ke -	Performance Ratio (PR)	Hari Ke -	Performance Ratio (PR)
1	72%	1	43%
2	67%	2	49%
3	80%	3	41%
4	48%	4	48%
5	52%	5	50%
6	85%	6	44%
7	69%	7	42%
8	55%	8	40%
9	71%	9	45%
10	42%	10	48%
11	68%	11	49%
12	47%	12	50%
13	59%	13	44%
14	49%	14	41%
15	54%	15	52%
16	77%	16	46%
17	61%	17	42%
18	48%	18	40%
19	59%	19	52%
20	49%	20	57%
21	45%	21	55%
22	45%	22	41%
23	46%	23	44%
24	46%	24	41%
25	47%	25	51%
26	44%	26	63%
27	45%	27	45%
28	44%	28	43%
29	45%	29	45%
30	44%	30	42%
31	43%		
Rata -Rata Bulan Mei		55 %	
Rata - Rata Bulan Juni		46 %	

Berdasarkan tabel diatas diketahui bahwa pada bulan Mei PLTS mampu menghasilkan energi listrik hingga 3358,4 kWh dengan produksi paling banyak dalam sehari adalah 127,41 kWh sedangkan paling rendah 70,35 kWh. Sedangkan pada bulan Juni PLTS mampu menghasilkan listrik sebesar 2843,6 kWh dengan produksi harian tertinggi adalah 102,75 kWh dan terendah sebesar 88,36 kWh. Total produksi listrik selama dua bulan adalah sebesar 6202 kWh dengan rata-rata 101,67 kWh per hari. Besar energi harian yang dibangkitkan PLTS selalu berbeda. Hal tersebut terjadi sebab produksi

listrik oleh PLTS sangat dipengaruhi oleh cuaca sekitar yang mana berdampak pada iradiasi matahari yang diterima modul panel surya.

Menganalisis Performa Sistem PLTS

Performa sistem PLTS dapat diukur dengan menghitung *performance ratio* dari sistem tersebut. Nilai PR sistem dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$PR = \frac{\text{Energi aktual output PLTS}}{GHI \times \text{Luas Area Panel} \times \eta} \quad (8)$$

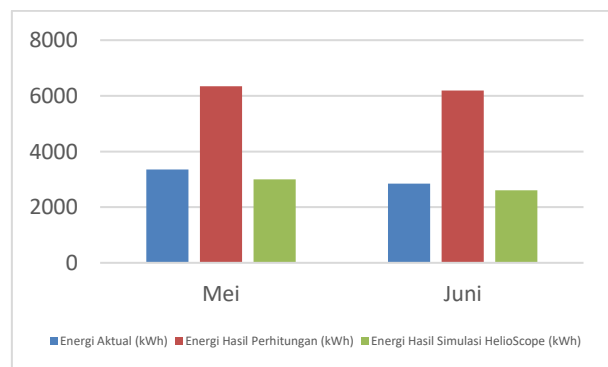
Sehingga *performance ratio* sistem dapat dilihat pada tabel 20 diatas.

Hasil Produksi Listrik

Dengan data hasil simulasi dan perhitungan diatas, maka dapat disimpulkan :

Tabel 18. Perbandingan Hasil Energi

Bulan	Energi Aktual (kWh)	Energi Hasil Perhitungan (kWh)	Energi Hasil Simulasi HelioScope (kWh)	PR (%)
Mei	3358,4	6344,51	3000,8	55%
Juni	2843,6	6194,11	2608,8	46%
Total	6202	12.538,62	5609,6	



Gambar 7. Diagram Perbandingan Hasil Energi

Dari tabel diatas diketahui bahwa Performa Sistem di Bulan Mei dan Juni, tidaklah terlalu efektif. Hal ini ditandai dengan nilai PR yang hanya sebesar 55% dan 44%. Sehingga besar energi yang dihasilkan masih jauh dari nilai perhitungannya. Akan tetapi, hal ini sesuai dengan apa yang disimulasikan oleh perangkat lunak HelioScope. Dimana pada Bulan Mei, HelioScope memprediksi akan menghasilkan energi sebesar 3000,8 kWh sedangkan pada kenyataannya sistem membangkitkan energi sebesar 3358,4 kWh. Dan pada Bulan Juni, HelioScope memprediksi akan menghasilkan energi sebesar 2608,8 kWh dan pada keadaan sebenarnya, sistem menghasilkan energi sebesar 2843,6 kWh. Yang mana akurasi pendekatan yang diprediksi oleh HelioScope mencapai 90% dari nilai sebenarnya.

KESIMPULAN

Selama bulan Mei dan Juni, PLTS di Asrama Putri Universitas Airlangga telah menghasilkan total energi listrik sebesar 6202 kWh dengan rata-rata harian sebesar 101,67 kWh. Meskipun performa PLTS tidak optimal, dengan *performance ratio* (PR) sebesar 55% pada bulan Mei dan 46% pada bulan Juni, hal ini sesuai dengan hasil simulasi yang dilakukan oleh perangkat lunak HelioScope. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa perbandingan kinerja PLTS 40 kWp dengan hasil simulasi HelioScope mencapai tingkat akurasi sebesar 90%, menunjukkan keandalan perangkat lunak tersebut dalam merencanakan sistem PLTS. Evaluasi ini penting untuk meningkatkan kepercayaan terhadap HelioScope dan memastikan keputusan perencanaan didasarkan pada estimasi yang akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Sianipar, M. Y. Puriza, and W. Sunanda, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop Untuk Perumahan di Pulau Bangka," *Vol*, vol. 7, no. 1, pp. 37–44, 2023.
- [2] R. R. Ramadhana, M. I. M, and A. Hafid, "Analisis Plts On Grid," vol. 14, pp. 12–25, 2022.
- [3] J. H. Riko, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Energi Terbarukan," *Academia.edu*, vol. 06, no. 02, pp. 136–142, 2014.

-
- [4] E. Tarigan, "Simulasi Sistem PLTS Atap dan Harga Satuan Energi Listrik Untuk Skala Rumah Tangga di Surabaya," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 18, no. 2, pp. 86–93, 2022, doi: 10.17529/jre.v18i2.25535.
- [5] A. A. G. A. Pawitra Putra, I. N. S. Kumara, and W. G. Ariastina, "Review Perkembangan PLTS di Provinsi Bali Menuju Target Kapasitas 108 MW Tahun 2025," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 19, no. 2, p. 181, 2020, doi: 10.24843/mite.2020.v19i02.p09.
- [6] T. K. A. W. Hasanah, "Kajian Sistem Kinerja PLTS Off-Grid 1 kWp DI STT-PLN," *J. Energi Keslitrikan*, vol. 1, no. 69, pp. 5–24, 1967.
- [7] Y. M. Simanjuntak *et al.*, " (Automatic Charger).," 2017.
- [8] I. K. Hendy Wijaya, I. N. Satya Kumara, and W. G. Ariastina, "Analisis Plts Atap 25 Kwp on Grid Kantor Dprd Provinsi Bali," *J. SPEKTRUM*, vol. 9, no. 2, p. 128, 2022, doi: 10.24843/spektrum.2022.v09.i02.p15.
- [9] E. A. Karuniawan *et al.*, "Analisis potensi daya listrik plts atap di gedung direktorat politeknik negeri semarang dengan perangkat lunak pvsyst," vol. 4, no. 2, pp. 75–80, 2023.
- [10] G. B. Muntoha, "Analisis Potensi Penerapan PLTS pada Kantor Unit Metrologi Legal Dinas Perindustrian dan Perdagangan Kabupaten Tulungagung," *J. List. Instrumentasi dan Elektron. Terap.*, vol. 3, no. 1, pp. 3–7, 2022, doi: 10.22146/juliet.v3i1.73780.
- [11] Y. T. Bungalangan *et al.*, "Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D," *J. Pendidik. Ekon.*, vol. 2, no. 1, p. 240, 2015, [Online]. Available: <http://ejournal.unikama.ac.id/index.php/JBPD%0Ayang%0Ahttp://perspektif.ppj.unp.ac.id/index.php/perspektif/article/view/75%0Ahttps://media.neliti.com/media/publications/29825-ID-perbedaan-hasil-belajar-siswa-menggunakan-metode-pembelajaran-kooperatif-tipe->
- [12] Wilisela Gerinda Mukti Subuh Isnur Haryudo, Aditya Chandra Hermawan, Mahendra Widyartono "Studi Literatur Sistem Monitoring Daya Pembangkit Listrik Tenaga Surya," pp. 685–694.
- [13] A. A. Rustandi, Harniati, and D. Kusnadi, "Jurnal Inovasi Penelitian," *J. Inov. Penelit.*, vol. 1, no. 3, pp. 599–597, 2020.
- [14] H. S. Adib, "Teknik Pengembangan Instrumen Penelitian Ilmiah di Perguruan Tinggi Keagamaan Islam," *Sains Dan Teknoogi*, pp. 139–157, 2017.
- [15] A. Makruf, R. Rahmadhani, P. S. Ningsih, W. Jayaditama, and N. Rani, "Pengukuran Tegangan, Arus, Daya Pada Prototype PLTS Berbasis Mikrokontroler Arduin Uno," vol. 5, no. 1, pp. 8–16, 2020.