
Penilaian Produktivitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terhadap Variabilitas Cuaca : Simulasi PVsyst

Sofyan Hermawan¹, Lela Nurpulaela^{2*}

Universitas Singaperbangsa Karawang; Jl HS.Ronggo Waluyo, Puseur Jaya, Teluk Jambe
Timur, Karawang, Jawa Barat 41361, Indonesia, Tel : (0267) 641177;

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik

e-mail: *lela.nurpulaela@ft.unsika.ac.id

Abstrak

Penelitian dampak perubahan cuaca terhadap produksi energi listrik Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Metode penelitian berupa pendekatan simulasi menggunakan perangkat aplikasi PVsyst 7.3.0 untuk menguji variabilitas cuaca yang mempertimbangkan sudut kemiringan dan arah panel surya. Sistem PLTS berkapasitas 5 kWp berlokasi di Desa Buninagara, Sindangkerta, Bandung Barat. Panel surya memiliki sudut kemiringan 20° dan menghadap arah utara 0° untuk periode Oktober – Maret dan April – September. Hasil dari penelitian, sistem PLTS yang didesain menghasilkan listrik sebesar 9896 kWh/yr dengan dengan rata-rata 4.30 kWh/kWp/day. Kemudian, periode Oktober – Maret dengan kemiringan dan arah serta spesifikasi yang sama menghasilkan energi listrik 9896 kWh/yr dengan rata-rata 4.30 kWh/kWp/day dan rugi-rugi sistem 0.13 kWh/kWp/day serta rugi panel surya 0.79 kWh. Di periode ini cuaca berubah-ubah berupa kemarau dan hujan sehingga berpengaruh pada penyerapan energi matahari oleh panel. Terakhir, pengujian periode April – September memiliki variabilitas cuaca cenderung stabil di musim kemarau. Namun, hasil simulasi menghasilkan energi listrik yang sama yaitu 9896 kWh/yr dengan rata-rata 4.30 kWh/kWp/day dengan rugi-rugi sistem yang sama. Sehingga, dari kedua simulasi yang dilakukan bahwa perubahan cuaca berpengaruh terhadap produksi dari PLTS serta penempatan kemiringan dan arah panel surya perlu diperhitungkan.

Kata kunci— PLTS, Perubahan Cuaca, Sudut Kemiringan Panel, Arah Panel

Abstract

Research on the impact of weather changes on the electricity production of a Solar Photovoltaic Power Plant (PLTS). The research method involves a simulation approach using the PVsyst 7.3.0 application to test weather variability, considering the tilt angle and orientation of solar panels. The PLTS system has a capacity of 5 kWp and is located in the village of Buninagara, Sindangkerta, West Bandung. The solar panels have a tilt angle of 20 degrees and face north (0 degrees) for the periods of October to March and April to September. The results of the research show that the designed PLTS system generated electricity amounting to 9896 kWh/yr with an average of 4.30 kWh/kWp/day. Then, for the testing period of October to March, with the same tilt, azimuth, and specifications, the system produced 9896 kWh/yr with an average of 4.30 kWh/kWp/day. The system losses were recorded at 0.13 kWh/kWp/day, and solar panel losses were 0.79 kWh. During this period, the weather changed, alternating between dry and rainy conditions, affecting the absorption of solar energy by the panels. Finally, testing for the period of April to September, which has relatively stable weather variability during the dry season. However, the simulation results for the April to September period produced the same electricity production, totaling 9896 kWh/yr with an average of 4.30 kWh/kWp/day, and the

same system losses. Therefore, from both simulations conducted, it is evident that weather changes significantly impact the production of PLTS, emphasizing the need to consider panel tilt and orientation.

Keywords— *Solar Photovoltaic Power Plant (PLTS), Weather Changes, Tilt Angle of Panels, Panel Orientation.*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang pesat dan taraf hidup masyarakat modern yang sehari-harinya tidak terlepas dari alat-alat elektronik mendorong penggunaan energi dalam jumlah yang besar. Penggunaan energi dalam sektor industri, transportasi, bisnis, ekonomi, pariwisata, pendidikan serta sektor lainnya yang menguras cadangan energi dalam jumlah yang besar terutama untuk bahan bakar minyak dan energi listrik. Penggunaan bahan bakar fosil yaitu dalam hal ini batubara sebagai bahan bakar utama untuk pembangkit listrik di Indonesia setiap tahunnya mengalami kenaikan yang diakibatkan dari permintaan penyediaan energi listrik yang berbanding lurus dengan peningkatan konsumsi energi listrik [1]. Berdasarkan laporan PLN menyatakan bahwa pada tahun 2022 konsumsi energi listrik nasional sebesar 273.761 GWh dimana sektor industri menggunakan energi sebesar 49,4% dari total konsumsi listrik nasional [2]. Akan tetapi, penggunaan bahan bakar fosil secara terus-menerus yang merupakan sumber daya yang terbatas dalam beberapa tahun atau dekade kedepan akan segera habis [3].

Dalam upaya mengatasi ketergantungan pada energi berbahan bakar fosil, inovasi teknologi untuk mencari sumber energi baru terbarukan dapat dilakukan dengan mengubah sumber daya alam yang tersedia menjadi sumber energi yang tidak terbatas atau dinamakan dengan konversi energi. Sumber energi tersebut seperti air, sinar matahari, panas bumi, angin, bioenergi, gelombang laut, air terjun, dan lain sebagainya [4]. Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan salah satu solusi populer dalam konversi energi baru terbarukan (EBT) yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan sinar matahari menjadi energi listrik. Wilayah Indonesia yang dilalui garis khatulistiwa yang beriklim tropis sehingga mendapatkan intensitas paparan cahaya matahari lebih banyak dibandingkan dengan wilayah lain sehingga pembangunan pembangkit listrik tenaga surya dapat dikembangkan [5]. Sumber energi yang besar menjadi potensi PLTS dengan rata-rata radiasi matahari yang menyinari wilayah Indonesia sebesar 4.8 kWh/m² per hari sehingga dapat digunakan untuk konversi energi [6].

Sistem Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) terdapat dua jenis yaitu Sistem On Grid (PLTS yang terkoneksi dengan jaringan listrik PLN) dan sistem Off Grid (Sistem PLTS berdiri sendiri tanpa terkoneksi dengan jaringan listrik PLN) [7]. Sistem PLTS baik On Grid maupun sistem Off Grid terdiri dari komponen utama yaitu panel surya, inverter, *solar charger controller* (SCC), dan baterai.

Sistem (PLTS) *Roof top* atau atap merupakan pembangkit listrik tenaga surya yang ditempatkan di atap-atap rumah atau gedung hotel, industri, maupun perkantoran [8]. Pada PLTS atap panel surya diletakan dalam atap suatu bangunan untuk mendapatkan sinar optimal cahaya matahari. Dengan meletakan panel surya dalam sudut kemiringan tertentu dapat mempengaruhi produksi energi listrik oleh PLTS. Selain dari posisi kemiringan panel, produksi PLTS dipengaruhi juga oleh kondisi cuaca di Indonesia yaitu seperti kondisi cuaca panas, cuaca cerah berawan atau mendung, dan cuaca hujan. Hal ini terjadi karena iradiasi atau sinar matahari yang mengenai panel surya sangat berpengaruh sehingga bukan panas atau tidak panasnya matahari yang diserap oleh panel namun jumlah sinar atau energi yang mengenai panel surya, sehingga produksi PLTS di pagi hari dan sore hari akan mengalami perbedaan [9].

Penelitian ini diarahkan untuk mengidentifikasi dan menganalisis dampak variabilitas

cuaca terhadap produktivitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) melalui simulasi menggunakan perangkat lunak PVsyst. Variabilitas cuaca, seperti fluktuasi intensitas cahaya matahari, dan faktor-faktor cuaca lainnya, dapat memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja PLTS. Oleh karena itu, rumusan masalah utama penelitian ini adalah bagaimana variasi cuaca memengaruhi produktivitas PLTS, dan sejauh mana hasil simulasi PVsyst dapat memberikan pemahaman mendalam terkait dampak tersebut.

Tujuan dari penelitian ini yaitu melakukan analisis terhadap perubahan cuaca yang dapat mempengaruhi produksi PLTS yang dilengkapi dengan simulasi aplikasi PVsyst. Sebuah sistem PLTS yang dibuat atau didesain pada PVsyst digunakan untuk mengetahui dampak dari fluktuasi cuaca pada saat kondisi cuaca panas, berawan, dan hujan.

Adapun manfaat dari penelitian yang dilakukan ini yaitu dapat menganalisis dampak dari adanya variabilitas cuaca terhadap sinar iradiasi matahari pada panel surya sehingga mempengaruhi penyerapan energi matahari yang berakibat pada perbedaan produksi listrik oleh pembangkit listrik tenaga surya (PLTS).

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode simulasi PLTS menggunakan aplikasi PVsyst meliputi desain sistem pembangkit listrik tenaga surya termasuk di dalamnya penentuan titik lokasi penelitian PLTS yang akan dilakukan, menentukan kapasitas PLTS yang didesain, jumlah panel Photo Voltaik (PV) atau panel surya yang terpasang, inverter yang digunakan, *tilt* atau kemiringan dari PV, dan analisis hasil simulasi sistem PLTS seperti data iradiasi matahari selama satu tahun, data cuaca pertahun, serta data tempat yang memungkinkan untuk dapat dibangun PLTS serta parameter lain yang dapat digunakan untuk simulasi. Produksi PLTS yang optimum akan tercapai apabila panel surya mendapat radiasi matahari yang optimal [10], dipengaruhi oleh dua hal yaitu sudut kemiringan (*tilt angle*) dari PV dan arah azimuth PV diletakan [11]. Sudut kemiringan atau *tilt angle* panel surya merupakan sudut yang menyatakan kemiringan panel surya terhadap permukaan bumi [12], sehingga dalam pemasangan panel surya sudut kemiringan ini harus diperhatikan karena berpengaruh pada penyerapan energi matahari yang mengenai panel.

2.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

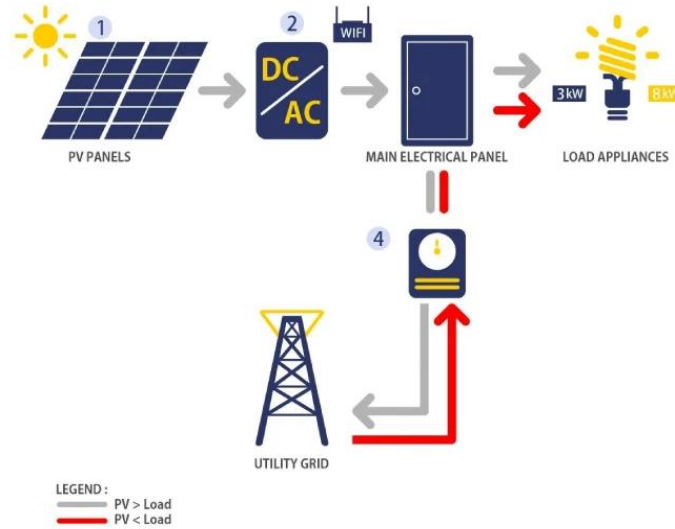
Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan sebuah solusi dari konversi energi yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan sumber energi dari cahaya matahari menjadi listrik yang dapat digunakan sehari-hari oleh masyarakat ataupun industri yang lebih besar kapasitasnya [13]. PLTS ini mengubah energi cahaya matahari (radiasi matahari) yang ditangkap melalui panel surya dan mengubahnya menjadi energi listrik DC. Pembangkit listrik tenaga surya dapat dibangun dengan dua sistem yaitu PLTS sistem On Grid dan Off Grid dan sistem ini disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi lokasi PLTS.

Komponen utama dari pembangkit listrik tenaga surya yaitu :

- a. Panel surya atau photo voltaik (PV)
- b. Inverter
- c. Baterai (off-grid maupun on-grid hybrida)

Cara kerja dari PLTS yaitu ketika cahaya matahari (radiasi matahari) mengenai panel surya pada sistem pembangkit maka panel surya akan menangkap energi matahari kemudian mengubahnya menjadi listrik searah atau DC, kemudian listrik yang tersimpan dialirkan dan melewati inverter sehingga diubah menjadi listrik bolak-balik atau AC yang dapat digunakan

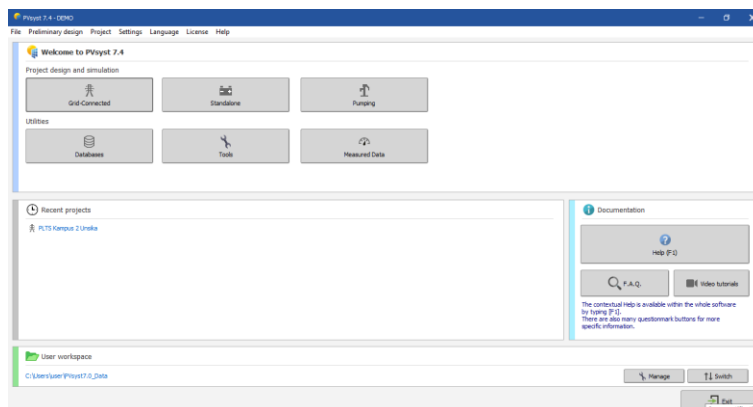
untuk peralatan rumah seperti penerangan lampu, dll. Apabila PLTS memproduksi energi listrik melebihi kapasitasnya maka akan disimpan pada baterai sehingga dapat digunakan kembali ketika panel surya tidak beroperasi (cuaca hujan atau pada saat malam hari).



Gambar 2.1 Sistem Grid Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

2.2 Aplikasi PVsyst

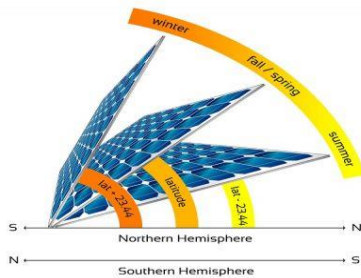
Aplikasi PVsyst merupakan sebuah aplikasi yang dikembangkan oleh Universitas Geneva aplikasi yang digunakan untuk melakukan sebuah simulasi PLTS yang berupa simulasi, pengukuran, desain, dan analisis data dari berbagai database meteorologi yang digunakan dalam pemetaan cuaca serta dilengkapi dengan fitur lengkap [14]. Fitur simulasi pada PVsyst diantaranya sistem terkoneksi dengan grid/jaringan (grid-connected), kemudian sistem yang tidak terkoneksi dengan jaringan (stand alone/ off-grid), dan sistem pompa (pumping) [14]. Komponen PLTS tersedia dalam PVsyst seperti panel surya, inverter, dan komponen lain untuk mendukung sistem pembangkit yang tersedia dengan berbagai produk dari merk yang tersedia di pasaran dengan kapasitas komponen yang bervariasi. PVsyst tersedia dalam berbagai versi dari mulai versi lama dan yang terbaru, aplikasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu PVsyst versi 7.3.0.



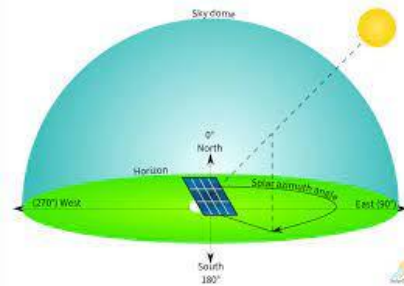
Gambar 2.2 Tampilan Depan Aplikasi PVsyst 7.4

2.3 Sudut Kemiringan (*Tilt Angle*) dan Arah Azimuth

Produktivitas optimum dari PLTS dipengaruhi oleh 2 hal penting yaitu sudut kemiringan panel surya (*tilt angle*) dan arah panel diletakkan (azimuth) karena kemiringan dan arah panel mempengaruhi dalam penyerapan radiasi dari cahaya matahari [11] [12]. Sudut kemiringan panel bervariasi dapat dimulai ketika panel surya diletakkan dalam posisi datar permukaan bumi yaitu asumsi 0° . Posisi ideal untuk kemiringan yaitu dari 0° - 20° untuk mendapatkan kerja optimum panel surya [15]. Kemudian, sudut azimuth merupakan arah dari panel surya terpasang untuk mendapatkan posisi yang ideal baik itu menghadap arah utara ataupun arah selatan. Sudut azimuth dalam panel surya dapat diletakkan pada posisi 90° pada pagi hari dan pada saat menjelang sore hari sebesar 270° [16]. Untuk wilayah yang berada dibawah garis khatulistiwa maka arah azimuth disarankan untuk menghadap ke arah utara, sedangkan untuk wilayah berada diatas garis khatulistiwa maka panel surya disarankan menghadap kea arah selatan [17].



Gambar 2.3 Sudut Kemiringan

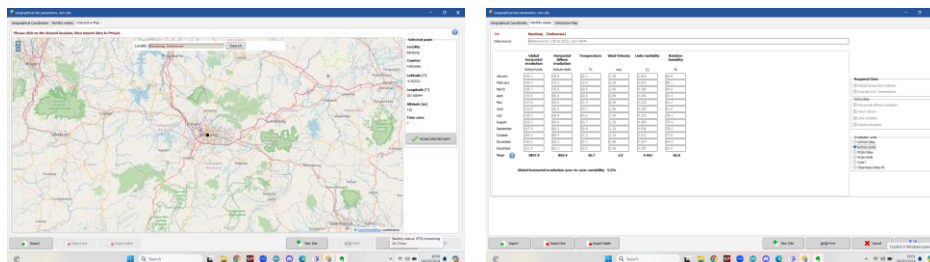


Gambar 2.4 Sudut Azimuth

2.4 Data Cuaca

Dalam penelitian yang dilakukan ini, data cuaca merupakan indikator yang penting untuk diketahui dalam memetakan data untuk keperluan dalam proses perencanaan pembangunan PLTS di suatu daerah. Dalam aplikasi simulasi yang digunakan yaitu PVsyst 7.4 tersedia integrasi dengan database cuaca yang dapat digunakan yaitu salah satunya *MeteoNorm* [18]. Selain data yang bersumber dari *MeteoNorm*, data cuaca dalam PVsyst dapat menggunakan data dari *Retscreen*, *Helioclim*, dll [19]. Dalam jurnal ini, data yang digunakan untuk simulasi evaluasi PLTS terhadap variabilitas cuaca menggunakan data yang bersumber dari *MeteoNorm*. *MeteoNorm* menyediakan data cuaca untuk nilai bulanan, maupun harian atau perjam untuk semua wilayah di bumi. Selain itu, *MeteoNorm* menyediakan data penting dalam perencanaan PLTS dalam PVsyst yaitu :

- Nilai dari iradiasi horizontal global yang disingkat GHI (data penting dalam menentukan penentuan lokasi pembangunan PLTS di suatu daerah)
- Penyinaran horizontal difus atau DHI
- Data kecepatan angin untuk menentukan kelayakan penempatan panel surya dalam lokasi PLTS
- Suhu



Gambar 2.5 Database *MeteoNorm* di Pvsyst

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Lokasi Penelitian Dalam Simulasi

Lokasi penelitian yang dipilih untuk dijadikan tempat simulasi dalam PVsyst ini berada di Bandung, Indonesia. Alasan dari Bandung sebagai lokasi penelitian simulasi ini mengacu pada data yang didapatkan dari yang didapatkan dalam data *MeteoNorm* sebagai berikut :

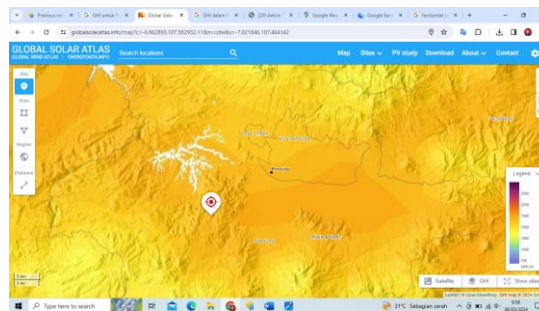
	Global horizontal irradiation kWh/m ² /day	Horizontal diffuse irradiation kWh/m ² /day	Temperature °C	Wind Velocity m/s	Linke turbidity [-]	Relative humidity %
January	4.84	2.42	15.9	1.20	3.427	86.4
February	5.39	2.35	15.7	1.10	3.564	88.9
March	5.15	2.18	16.4	1.00	3.582	85.4
April	5.16	2.18	16.7	0.89	3.815	86.2
May	4.89	2.01	17.2	0.90	3.838	83.1
June	4.88	1.95	16.7	1.00	3.853	81.8
July	4.88	1.74	16.4	1.09	3.821	80.5
August	5.14	1.86	16.5	1.20	3.929	78.3
September	5.38	2.24	16.5	1.19	4.146	79.5
October	5.81	2.32	16.9	1.09	4.999	81.0
November	5.05	2.62	16.3	0.99	5.009	86.6
December	4.94	2.34	16.3	1.00	3.838	85.5
Year	5.12	2.18	16.5	1.1	3.985	83.6

Global horizontal irradiation year-to-year variability 5.5%

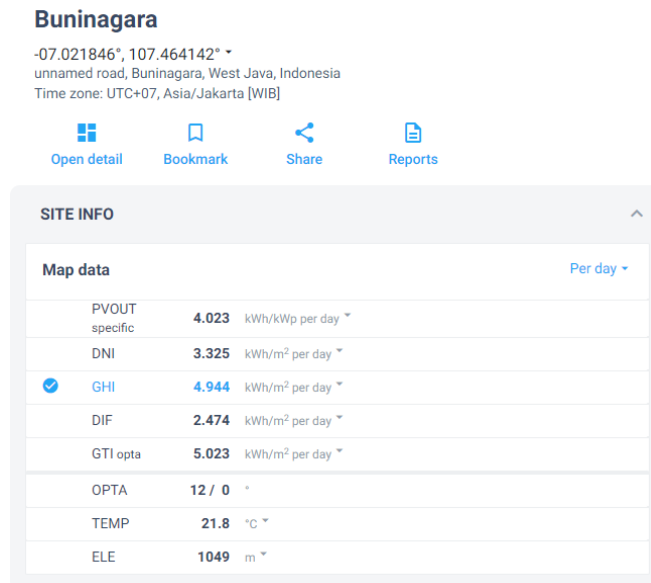
Gambar 3.1 *Global Horizontal Irradiation* (GHI) daerah Bandung

Data yang digunakan untuk melihat potensi yang dapat dimanfaatkan untuk pembangunan sebuah PLTS dalam hal ini dengan mempertimbangkan nilai dari *Global Horizontal Irradiation* (GHI) yang merupakan jumlah radiasi dari sinar matahari yang tepat mengenai permukaan horizontal di bumi [19]. Dengan meninjau nilai dari jumlah radiasi yang mengenai permukaan bumi pada titik lokasi daerah yang dijadikan objek atau tempat penelitian yang dilakukan sehingga menjadi acuan terhadap pengembangan proyek PLTS. Nilai dari GHI ini penting diketahui karena nilai dari GHI ini berkaitan dengan jumlah radiasi matahari yang akan mengenai panel surya yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik. Data *Global Horizontal Irradiation* (GHI) di lokasi penelitian yaitu di Bandung Indonesia menyajikan berupa data rata-rata produksi listrik yang dihasilkan daya dalam satu hari atau KWh/m²/day. Dari data dapat dilihat bahwa rata-rata *Global Horizontal Irradiation* (GHI) di daerah Bandung, nilai perhari nya di dapat untuk *Diffuse Horizontal Irradiation* (DHI) 2,42 KWh/m²/day dan nilai rata-rata GHI perhari yaitu sebesar 4,84 KWh/m²/day. Kemudian, untuk nilai rata-rata GHI pertahun yaitu sebesar 5,12 KWh/m²/day.

Kemudian, untuk mendukung data yang didapatkan dari *MeteoNorm* juga ditinjau data *Global Horizontal Irradiation* (GHI) dari web Global Solar Atlas yang berlokasi di Buninagara, Sindangkerta, Bandung Barat, yaitu sebagai berikut :



Gambar 3.2 Data *Global Horizontal Irradiation* (GHI) daerah Bandung Barat, Indonesia



Gambar 3.3 Nilai *Global Horizontal Irradiation* (GHI) per hari di Buninagara, Bandung Barat



Gambar 3.3 Nilai *Global Horizontal Irradiation* (GHI) per tahun di Buninagara, Bandung Barat

Dalam web Global Solar Atlas dapat ditinjau nilai dari *Global Horizontal Irradiation* (GHI) di Desa Buninagara, Sindangkerta, Bandung Barat didapatkan nilai GHI per hari didapatkan sebesar 1804.4 kWh/m² dan per tahun didapatkan nilai sebesar 4.944 kWh/m². Berdasarkan data *Global Horizontal Irradiation* dari *MeteoNorm* dan Global Solar Atlas didapatkan sebuah perbedaan yang tidak terlalu besar baik untuk nilai rata-rata per hari ataupun per tahun. Dari tinjauan didapat bahwa rata-rata GHI yaitu sebesar 1.804 kWh/m² sampai 2.402 kWh/m², kemudian untuk rata-rata per tahun yaitu antara 4.944 kWh/m² sampai 5.120 kWh/m². Dengan nilai radiasi matahari yang ditinjau dari dua sumber itulah ditetapkan daerah Bandung yaitu khususnya di Desa Buninagara, Bandung Barat untuk dijadikan lokasi untuk simulasi penelitian pengujian variabilitas cuaca terhadap PLTS dalam aplikasi PVsyst.

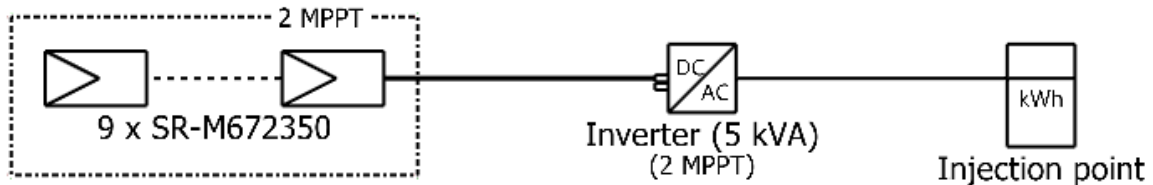
3.2 Analisis Hasil Simulasi PLTS Menggunakan PVsyst

Simulasi yang dilakukan yaitu dengan membuat desain sistem PLTS pada aplikasi PVsyst sebagai berikut :

- Daya PLTS yaitu 5 kWp
- Panel surya 350 Wp monocrystalline merk Sunrise
- Jumlah panel : 18 panel

- d. Jumlah array : 2 array
- e. Jumlah string : 2 string
- f. Inverter 5.0 kW merk Turbo Energy

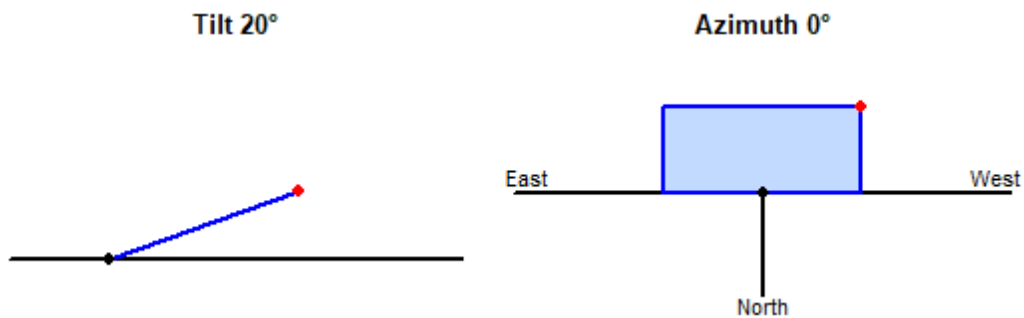
Dengan *single line diagram* PLTS yang dibuat :



Gambar 3.4 *Single line diagram* sistem PLTS

3.2.1 Periode Oktober – Maret

Pada simulasi yang pertama dengan melakukan setting *orientation system* untuk periode *summer (Oct – Mar)* dengan rincian sudut kemiringan panel pada *tilt 20°* serta arah *azimuth* menghadap arah utara dengan sudut 0° .



Gambar 3.5 *Tilt dan azimuth* PLTS

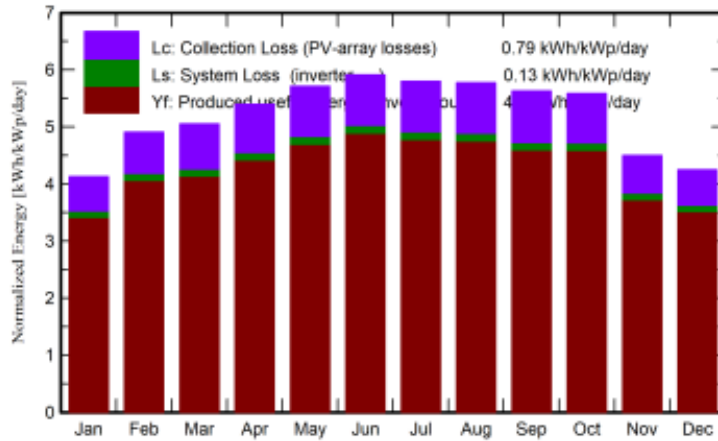
Kemudian dijalankan untuk simulasi PLTS yang telah didesain, sehingga di dapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 1. *Main Result* Simulasi PLTS (Periode Oktober - Maret)

Main Result			
System Production	9896 kWh/yr	Normalized production	4.30 kWh/kWp/day
Specific production	1571 kWh/kWp/yr	Array losses	0.79 kWh/kWp/day
Performance Ratio	0.824	System losses	0.13 kWh/kWp/day

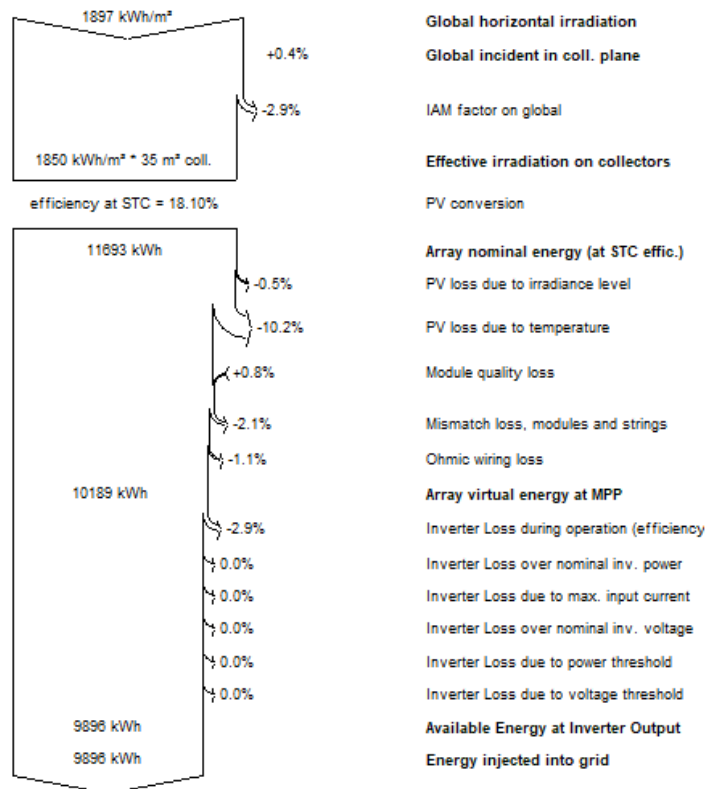
Dari simulasi di dapatkan nilai untuk produksi sistem PLTS menghasilkan daya sebesar 9896 kWh/per tahun dengan rata-rata normal PLTS memproduksi 4.30 kWh/kWp/day. Daya yang dihasilkan PLTS di periode Oktober – Maret mencapai daya yang optimal walaupun daya yang dihasilkan tidak mencapai dengan desain sistem untuk mencapai 5.0 kWp, hal ini terjadi karena di pengaruhi oleh beberapa hal mulai dari variabilitas cuaca di Indonesia yang pada rentang bulan Oktober – Maret musim yang pancaroba yaitu kadang panas dan kadang hujan sehingga berpengaruh pada produksi PLTS. Selain itu dipengaruhi oleh rugi-rugi sistem oleh penurunan

daya atau kehilangan daya di tiap *array* panel surya yaitu sekitar 0.79 kWh/kWp/day dan rugi dari sistem sebesar 0.13 kWh/kWp/day.



Gambar 3.6 Normalized productions (per installed kWp)

Pada gambar grafik diatas merupakan data dari produksi normal panel surya per bulan selama setahun. Periode Oktober – Maret dapat dilihat terdapat penurunan dan kenaikan dari produksi panel yang diakibatkan dari variabilitas cuaca yang terjadi pada rentang periode tersebut.



Gambar 3.7 Loss Diagram Sistem PLTS (Oktober – Maret)

Dari diagram di atas dapat diamati bahwa sistem *Global Horizontal Irradiation (GHI)* yang tersedia yaitu sebesar 1897 kWh/m² namun iradiasi efektif pada panel surya sebesar 1850 kWh/m² yang berarti terjadinya penurunan kualitas GHI sebesar -2.9% IAM factor on Global. Kemudian, potensi energi listrik yang dapat di produksi sistem PLTS sebesar 11693 kWh yang dihasilkan dari 2 *array* , namun jumlah tersebut mengalami penurunan seiring dengan aliran energi yang melewati komponen inverter yang dilengkapi pengaman dimana terjadi penurunan adanya inverter terjadinya *loss* daya sebesar -2.9% yang hal ini terjadi karena daya (P) berbanding lurus dengan tegangan (V) sehingga hal ini berbahaya bagi kelangsungan komponen-komponen PLTS yang terpasang apabila mendapatkan tegangan yang berlebih sehingga daya output dari inverter yaitu sebesar 9896 kWh.

3.2.2 Periode April - September

Simulasi selanjutnya adalah dengan mengubah *setting-an* pada *orientation* panel surya yaitu mengatur sudut kemiringan dan arah sudut *azimuth* yang bertujuan untuk mendapatkan posisi optimum panel surya dalam menangkap radiasi matahari. Selain mengatur sudut *tilt* atau kemiringan dan arah *azimuth* photo voltaik (PV) pada sudut 20° dan arah *azimuth* panel menghadap arah utara dengan sudut 0°. Untuk simulasi periode April – September *tilt* dan *azimuth* panel surya dengan periode Oktober – Maret seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.

Tabel 2. *Main Result* Simulasi PLTS (Periode April - September)

Main Result			
System Production	9896 kWh/yr	Normalized production	4.30 kWh/kWp/day
Specific production	1571 kWh/kWp/yr	Array losses	0.79 kWh/kWp/day
Performance Ratio	0.824	System losses	0.13 kWh/kWp/day

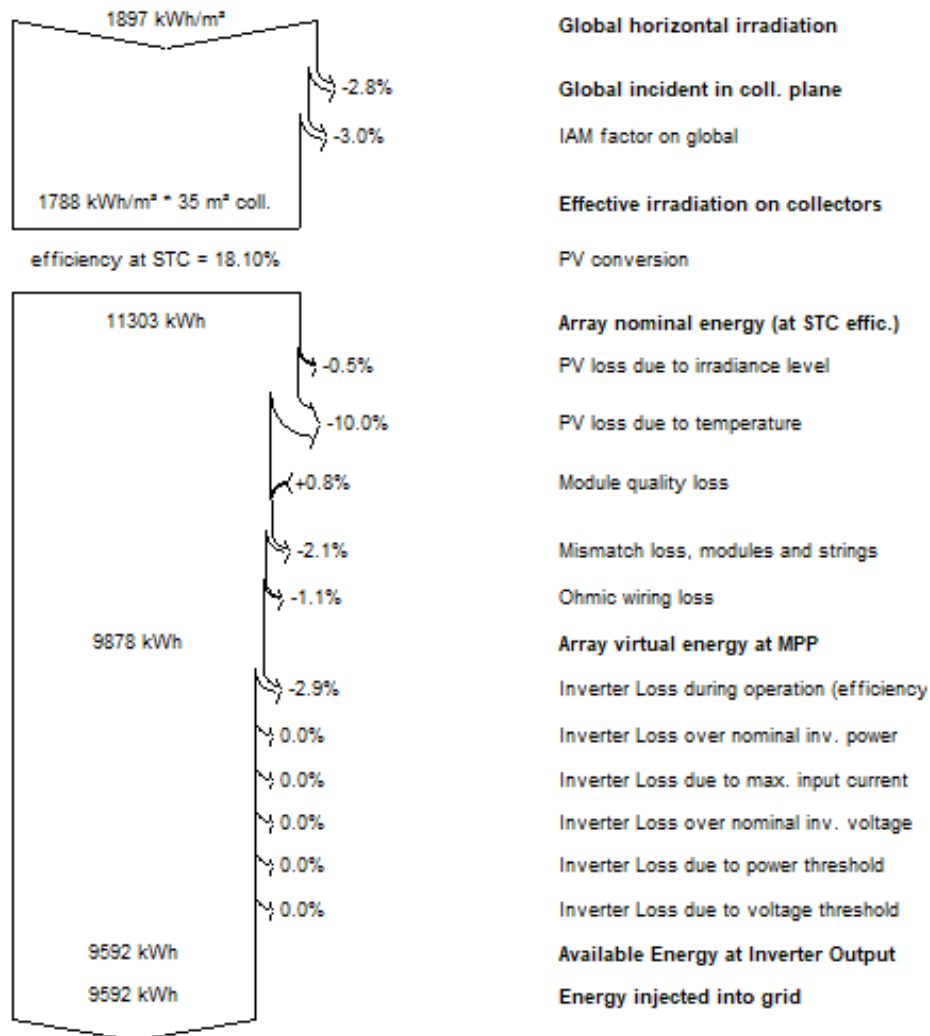
Dari data didapatkan untuk simulasi PLTS pada periode April – September yang dimana di Indonesia biasanya pada periode ini masuk pada musim kemarau. Namun, pada tabel di atas menunjukkan data yang sama pada periode Oktober – Maret yaitu dengan rincian sistem PLTS memproduksi 9896 kWh/yr yang dimana rata-rata produksi PLTS per hari sebesar 4.30 kWh/kWp/day dengan ratio performa dari PV 0.824. Tidak berbeda jauh dengan periode Okt – Mar produksi listrik oleh PLTS hanya berkisar di angka 4.30 kWh/kWp/day yang berarti belum mencapai titik optimal yaitu sebesar 5.0 kWp. Namun, hal ini dapat ditoleransi berdasarkan data dari sistem *losses* atau kerugian yang dialami sistem selama beroperasi yang berakibat menurunnya produksi listrik oleh PLTS. Nilai *losses* sistem sebesar 0.13 kWh/kWp/day dan nilai *losses* pada *array* 0.79 kWh/kWp/day.

Tabel 3. *Balances and Main Results*

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	ratio
January	146.1	78.84	20.12	128.0	122.6	699.8	667.7	0.828
February	149.4	74.32	19.87	137.4	132.5	739.6	717.6	0.829
March	158.7	75.04	20.64	156.5	151.8	739.6	808.7	0.820
April	154.9	68.80	20.85	161.9	157.7	860.8	836.6	0.820
May	157.8	65.57	21.37	177.1	172.8	944.5	918.6	0.823
June	152.8	55.97	20.72	177.4	173.8	950.8	925.3	0.828
July	158.2	58.78	20.63	179.8	176.4	960.7	934.2	0.825
August	165.5	69.61	20.74	179.0	175.2	955.4	929.0	0.824
September	167.4	66.21	20.81	168.9	164.4	894.5	869.3	0.817

October	184.2	88.36	21.26	173.2	167.8	922.8	897.3	0.822
November	150.6	82.20	20.67	134.9	129.6	726.8	704.7	0.829
December	151.9	82.19	20.52	131.6	125.7	709.4	687.3	0.829
Year	1897.4	865.89	20.69	1905.6	1850.1	10188.7	9696.0	0.824

Tabel 3 menunjukkan data yang didapatkan dari simulasi seperti *GlobHor* atau iradiasi global horizontal per bulan, kemudian ada *diffuse horizontal irradiation*, suhu, energi array yang sesuai dengan spesifikasi pabrikan panel yang dipasang, serta PR ratio. Dari data di atas dapat diamati bahwa untuk periode April – September memiliki nilai yang tidak sebesar periode Oktober – Maret namun memiliki nilai kenaikan yang konstan setiap bulan, sementara untuk bulan Oktober – Maret memiliki nilai yang tinggi namun memiliki penurunan yang signifikan sehingga kurang stabil kenaikan atau penurunannya.



Gambar 3.8 *Loss Diagram* Sistem PLTS (April – September)

Data *loss diagram* untuk bulan April – September dimana GHI yang terpancar yaitu sebesar 1897 kWh/m² dengan nilai efektifnya berada pada 1788 kWh/m² setelah terjadinya penurunan

sebesar -2.8% untuk GlobInc dan -3.0% faktor IAM factor on global. Selanjutnya, array yang dibentuk dapat menghasilkan energi minimal 11303 kWh dengan input pada inverter pada angka 9878 kWh yang disini terjadi penurunan nilai karena disebabkan *losses* pada sistem sehingga output energi yang dihasilkan sebesar 9592 kWh setelah melewati rugi-rugi sistem sebesar -2.9%, sehingga daya yang dihasilkan PLTS sebesar 9592 kWh.

Simulasi yang dilakukan pada aplikasi PVsyst yaitu untuk periode satu tahun yang terbagi dalam dua fase yaitu bulan April – September dan Oktober – Maret. Setelah dilakukan simulasi didapatkan hasil untuk jumlah produksi listrik oleh PLTS tidak memiliki perbedaan yaitu produksi sistem sebesar 9896 kWh/yr dengan rata-rata produksi 4.30 kWh/kWp/day dengan *losses array* 0.79 kWh/kWp/day dan *array losses* 0.13 kWh/kWp/day.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian untuk evaluasi variabilitas cuaca produksi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang menggunakan metode simulasi menggunakan aplikasi PVsyst 7.3.0 dengan titik lokasi penelitian berada di Buninagara, Sindangkerta, Bandung Barat, Jawa Barat, Indonesia, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang dibuat menggunakan sistem on-grid dengan kapasitas 5 kWp. Sistem PLTS memiliki 2 *array* modul surya dengan jumlah panel surya sebanyak 15 lembar monocrystalline dan 2 *string* inverter dengan *setting* sudut kemiringan 20° dan menghadap ke arah utara sudut 0°. Berdasarkan hasil pengujian desain PLTS yang dibuat berhasil di *run* dengan hasil simulasi dengan produksi energi oleh PLTS sebesar 9896 kWh/yr dengan rata-rata 4.30 kWh per hari. Daya yang dihasilkan oleh PLTS belum sepenuhnya optimal yang disebabkan oleh adanya *losses system* sebesar 0.13 kWh/kWp/day dan *losses array* sebesar 0.79 kWh/kWp/day.
2. Pengujian simulasi yaitu dengan mengubah *orientation* pada sistem PLTS untuk periode Oktober – Maret dengan sudut kemiringan dan arah panel surya sebesar 20° dan menghadap arah utara sudut 0°. Di dapat hasil produksi sistem PLTS yaitu 9896 kWh/yr dan rata-rata per hari 4.30 kWh. Pada periode ini di Indonesia biasanya merupakan musim penghujan sehingga penyerapan sinar matahari oleh panel tidak optimal dan hal ini berpengaruh pada jumlah energi yang dihasilkan PLTS. Kemudian, dilihat dari suhu dari matahari di periode ini yaitu tidak stabil berada di kisaran antara 20°C, 19 °C dan mengalami ketidakstabilan radiasi matahari. Perubahan cuaca seperti pada musim hujan dan kadang kemarau sehingga panel surya tidak mencapai produksi maksimum. Namun, perubahan cuaca ini memang mempengaruhi panel surya dalam menyerap sinar matahari.
3. Pengujian yang terakhir yaitu dengan mengubah *orientation* sistem pada periode April – September dengan *tilt* dan *azimuth* yang sama dengan periode sebelumnya yaitu 20° dan menghadap arah utara dengan sudut 0°. Pada periode ini, rata – rata suhu yaitu 20.69 °C dan ini lebih baik apabila dibandingkan dengan periode Oktober – Maret yang memiliki ketidakstabilan cuaca. Walaupun adanya perbedaan cuaca, namun untuk daya yang dihasilkan PLTS memiliki nilai yang sama yaitu 9896 kWh/yr dan rata-rata 4.30 kWh/day dengan *losses system* dan *array*. Dengan melihat data grafik dari normalized production (per installed kWp) rata-rata produksi energi listrik PLTS yaitu 4.15 kWh/kWp/day.

5. SARAN

Sudut kemiringan dan arah penempatan panel surya sangat penting terhadap penyerapan energi matahari sehingga hal ini perlu menjadi perhatian yang tidak kalah penting dengan

pemilihan komponen sistem serta lokasi rencana pembangunan PLTS. Selain itu, pemilihan produk panel surya dengan inverter dari pabrikan perlu diperhitungkan karena hal tersebut berpengaruh pada produksi energi listrik yang dihasilkan. Oleh karena itu, disarankan untuk penelitian selanjutnya untuk mempertimbangkan sudut kemiringan dan arah panel yang terbaik dengan didukung komponen PLTS yang memiliki efisiensi yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. A. Pratama and M. Ikhsan, "KENAIKAN PELANGGAN DENGAN DOUBLE EXPONENTIAL SMOOTHING HOLT ' S," vol. 13, no. 1, pp. 1–8, 2022.
- [2] L. Qodariah and M. Nurjihadi, "Pengaruh Sektor-Sektor Ekonomi Prioritas dan Variabel Demografis Terhadap Konsumsi Energi Listrik di Provinsi Nusa Tenggara Barat," pp. 1–14, 2024.
- [3] K. Dan and K. Sengon, "Pemanfaatan teknologi tepat guna kompor roket dengan formulasi bahan bakar pelet kayu dan kayu sengon," vol. 10, no. 2, pp. 136–147, 1979.
- [4] G. Sihombing, "TRANSFORMATOR ENERGI , POTENSI DAN PENGUJIAN MODEL ENERGI," vol. 1, no. 9, pp. 612–618, 2020.
- [5] A. Rinaldi, "PELUANG PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) PADA," no. June, 2021, doi: 10.17605/OSF.IO/DTBVQ.
- [6] L. Halim, "Analisis Teknis dan Biaya Investasi Pemasangan PLTS On Grid dan Off Grid di Indonesia," vol. 5, no. 2, pp. 131–136, 2025.
- [7] R. R. Ramadhana, M. I. M, and A. Hafid, "ANALISIS PLTS ON GRID," vol. 14, pp. 12–25, 2022.
- [8] P. Harahap, M. Adam, and B. Oktrialdi, "Optimasi Kapasitas Rooftop Pv Off Grid Energi Surya Berakselerasi di Tengah Pandemi Covid-19 untuk Diimplemtasikan pada Rumah Tinggal," vol. 5, no. 1, pp. 31–38, 2019.
- [9] S. Purnomo, Y. Z. Arief, A. Jaenul, S. Wilyanti, and I. Artikel, "ANALISIS PENGARUH CUACA TERHADAP EFISIENSI PANEL SURYA GRID TIE MENGGUNAKAN KONFIGURASI MICRO INVERTER DAN STRING INVERTER TERHADAP ENERGI YANG DIHASILKAN," vol. XII, no. 2, pp. 100–110, 2023, doi: 10.35508/jme.v12i2.12648.
- [10] W. Purnomo, S. B. Mulia, M. Fikri, and P. M. Bandung, "RANCANG BANGUN PROTOTYPE PEMBERSIH SOLAR PANEL OTOMATIS PADA ROOFTOP BERBASIS," vol. 5, no. 1, pp. 55–64, 2023.
- [11] F. Ayu, F. Sugiono, P. D. Larasati, and A. Karuniawan, "PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN PANEL SURYA TERHADAP POTENSI PEMANFAATAN PLTS ROOFTOP DI BENGKEL TEKNIK MESIN , POLITEKNIK NEGERI SEMARANG," vol. 01, no. 01, pp. 1–8, 2022.
- [12] S. Tamimi, W. Indrasari, and B. H. Iswanto, "OPTIMASI SUDUT KEMIRINGAN PANEL SURYA PADA PROTOTIPE SISTEM PENJEJAK MATAHARI AKTIF," vol. V, pp. 53–56, 2016.
- [13] S. E. Pasaribu, N. H. K. Fadhilah, and I. H. Kusumah, "Analisis Biaya dan Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Perumahan Taman Lestari Nagrak," vol. 9, no. 1, pp. 129–138, 2023.
- [14] E. A. Karuniawan, "Analisis Perangkat Lunak PVSYST, PVSOL dan HelioScope dalam Simulasi Fixed Tilt Photovoltaic," *J. Teknol. Elektro*, vol. 12, no. 3, p. 100, 2021, doi: 10.22441/jte.2021.v12i3.001.
- [15] K. Friansa, J. Pradipta, I. N. Haq, E. Leksono, and K. Ariwibawa, "Peningkatan Kinerja Modul PV Kanopi dengan Optimasi Pembayangan pada Area Terbatas," vol. 21, no. 1,

-
- 2022.
- [16] K. April, M. Sahlul, and J. Riandra, “PENENTUAN KEMIRINGAN PANEL SURYA MENGGUNAKAN METODE AZIMUT PADA PLTS RUMAH SUMBUL,” pp. 61–66.
 - [17] E. A. Karuniawan, “Analisis Perangkat Lunak PVSYST , PVSOL dan HelioScope dalam Simulasi Fixed Tilt Photovoltaic,” vol. 12, no. 3, pp. 100–105, 2021, doi: 10.22441/jte.2021.v12i3.001.
 - [18] W. Nugroho, A. Nugroho, and B. Winardi, “Analisis Potensi Dan Unjuk Kerja Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Gedung Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro,” *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 2, pp. 181–188, 2020, doi: 10.14710/transient.v9i2.181-188.
 - [19] B. D. Cahyono, “Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Catu Daya Pompa Air Submersible,” vol. 7, no. 2, pp. 309–319, 2023.
-