

# Analisis Potensi Daya Listrik PLTS Atap di Gedung K4 Universitas Negeri Surabaya

Ayusta Lukita Wardani<sup>\*a)</sup>, Widi Aribowo<sup>a)</sup>, Mahendra Widyartono<sup>a)</sup>, Reza Rahmadian<sup>a)</sup>, Aditya Chandra Hermawan<sup>a)</sup>, Nur Vidia Laksmi B<sup>a)</sup>

(Received 21 September 2024 || Revised 22 Oktober 2024 || Accepted 28 Oktober 2024)

**Abstract:** To utilize the potential of solar energy and support the government in its energy transition efforts and achieve Net Zero Emissions, it is necessary to utilize solar power plants more massively. One thing that can be done is the installation of solar panels on the roof of a building called Rooftop PLTS. This rooftop PLTS is designed on the roof of the K4 Unesa building with an ongrid system because lecture activities only exist from morning to evening. Research conducted to analyze the potential of electrical energy on the roof of the K4 building using OpenSolar software. From the simulation results, the roof of the K4 building can be designed to install 70 solar panels with the LR4-72HPH-450M type and 5 Goodwe GW5K-DT type inverters which can produce 35,478 kWh per year with a PLTS capacity of 31,500 Wp. From the shadow simulation results, it is found that the selected location is optimal because there are no shadows of other buildings, trees or shadows from the solar panels themselves. Then from the POA analysis, it is found that between April to September has a relatively large amount of generation while in February the lowest energy is generated.

**Keywords:** energy potential analysis, PLTS atap, PV Rooftop, OpenSolar, shading analysis, solar energy

## 1. Pendahuluan

Untuk mendorong peningkatan penggunaan energi terbarukan dalam bauran energi nasional hingga 23% di tahun 2025 yang tertuang pada Rencana Umum Energi Nasional atau yang disingkat RUEN. Pemerintah telah menetapkan beberapa kebijakan teknis sebagai landasan pelaksanaannya pada peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM).

Penggunaan energi tenaga surya tercatat pada RUEN masih sekitar 0.08% atau sekitar 175.5 MW dari total potensi tenaga surya di Indonesia dengan wilayah Jawa Timur Memiliki potensi sebesar 10.335 MW. Untuk memanfaatkan potensi energi tenaga surya dan mendukung pemerintah dalam upaya transisi energi menjadi energi hijau serta mencapai *NET Zero Emissions* pada tahun 2060 maka perlu pemanfaatan PLTS berupa PLTS ATAP.

PLTS Atap memiliki banyak keunggulan yaitu salah satunya adalah pemanfaatan area pada atap yang biasanya tidak digunakan. Kemudian dari sisi pemeliharaan juga minimal karena perawatannya tidak rumit dan mudah [1].

Penelitian terkait potensi daya listrik PLTS atap telah banyak dilakukan misalnya pada gedung kampus Politeknik Negeri Semarang menggunakan perangkat lunak Pvsyst dengan perolehan potensi sebesar 9321 kWh/tahun [2], begitu juga di Gedung Kantor Bupati Kabupaten Temanggung didapatkan potensi sebesar 3795 kWh setiap tahunnya menggunakan Pvsyst 7.2.6 [3]. Selain menggunakan Pvsyst beberapa penelitian menggunakan holioscope untuk menganalisa potensi energi yang dihasilkan seperti pada Gedung Kantor Pelabuhan PT. Pupuk Kalimantan Timur [4] dan Gedung Sekolah [5].

Pemanfaatan PLTS atap juga dilakukan pada pelanggan rumah tangga seperti pada penelitian yang dilakukan [6] dapat melakukan penghematan sebesar Rp. 236.493 per bulan. Sedangkan pada pemanfaatan PLTS atap pada gedung Pesantren Al Mukaromah [7] menghasilkan energi sebesar 2.953 kWh pertahun, sedangkan pada Pondok Pesantren Sejahtera sebesar 10,550 Wp perhari [8]. Hal ini sejalan dengan Surat Edaran Menteri ESDM No. 363/22/MEM.L/2019 untuk percepatan penggunaan PLTS Atap secara masif.

Penelitian terkait potensi daya listrik perlu digunakan untuk survei awal dalam perencanaan pemasangan PLTS. Terlebih

dalam peraturan terbaru Permen ESDM No 2 Tahun 2024 dijelaskan bahwa dalam pemasangan PLTS Atap tidak ada batasan kapasitas daya terpasang namun mengikuti Kuota Pengembangan sistem PLTS ATAP sesuai dengan *clustering*.

Permen ESDM no 2 Tahun 2024 menggantikan Permen ESDM no 26 Tahun 2021 yang sebelumnya berlaku, dengan perubahan sebagai berikut yaitu penghapusan ekspor impor energi listrik, penghapusan batasan kapasitas dan ketentuan kuota pengembangan PLTS Atap.

Pengimplentasian pemasangan PLTS telah dilakukan pada selingkung Universitas Negeri Surabaya khususnya pada Fakultas Vokasi dimana pemasangan PLTS ini ditempatkan pada Atap kantin untuk mensuplai beban lampu dan kipas [9]. Namun masih belum dapat menggambarkan potensi pemanfaatan atap sebagai PLTS. Sehingga diperlukan penelitian terkait potensi energi listrik yang dapat dihasilkan jika memanfaatkan area atap gedung K4. Sehingga jika akan dipasang dapat mencukupi kebutuhan daya listrik pada gedung tersebut.

Penelitian yang dilakukan menganalisa potensi energi listrik pada atap gedung K4 dimana rangka atap berbentuk persegi dengan pemilihan sisi atap berdasarkan arah azimuth dan analisa bayangan yang dilakukan menggunakan open solar. Kelebihan open solar ini merupakan aplikasi open source dan tidak berbayar serta mudah dalam mendesain dan menganalisa potensi energi listrik, serta menganalisa bayangan jika dibandingkan dengan perangkat lunak lain seperti Pvsyst dan Holioscope. Pemilihan atap gedung K4 berdasarkan kegunaannya sebagai ruang dosen, ruang rapat dan Lab Komputer. Dan karena penggunaan beban pada gedung K4 mayoritas pada pagi hingga sore hari maka tidak membutuhkan baterai dan sistem secara On Grid. Penelitian yang dilakukan digunakan untuk studi analisis potensi daya listrik.

## 2. Metodologi

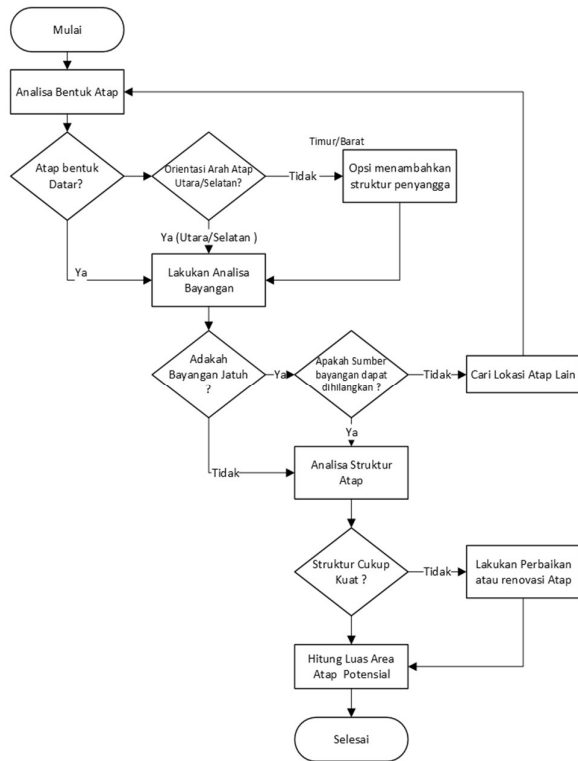
PLTS Atap ini menggunakan sistem on grid dimana terhubung dengan jaringan distribusi PLN dan tidak menggunakan baterai dengan pertimbangan bahwa penggunaan beban saat malam hari hanya minimal sehingga saat malam hari terkoneksi dengan jaringan PLN. Perbedaan pada sistem on grid dengan permen ESDM No 2 Tahun 2024 adalah perlu ditambahkan *advanced Meter* untuk komunikasi dan pengukuran dua arah, berbeda

\*Korespondensi: [ayustawardani@unesa.ac.id](mailto:ayustawardani@unesa.ac.id)

a) Prodi D4 Teknik Listrik, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Jl. Ketintang, Ketintang, Kec. Gayungan, Surabaya, Jawa Timur 60231

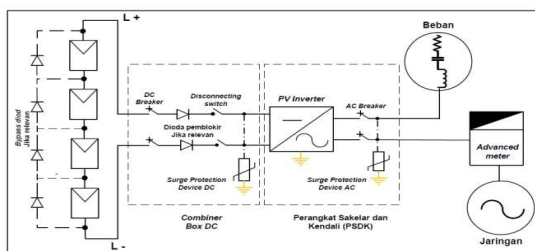
dengan sebelumnya menggunakan kWh meter ekspor impor atau exim.

Dalam analisa potensi daya listrik PLTS atap perlu mempertimbangkan dua hal yaitu yang pertama adalah analisa lokasi pemasangan PV dan yang kedua sistem kelistrikan. Untuk penjabaran analisa yang pertama dapat dilihat pada gambar dibawah ini



GAMBAR 2.1 FLOWCHART ANALISA LOKASI PEMASANGAN

Yang perlu dipertimbangkan pada bentuk atap apakah bentuk datar atau prisma/perisai, jika bidang datar akan lebih luas dalam desain peletakan panel surya dan juga mudah dalam instalasi. Selain itu pada atap datar lebih mudah untuk mengatur orientasi arah panel untuk menghadap utara atau selatan. Jika panel surya menghadap timur atau barat akan terhalang bayangan atap saat pagi atau sore. Kemudian pada atap datar strukturnya relatif lebih kuat karena mayoritas terbuat dari beton. Sedangkan pada atap bentuk prisma perlu beberapa pertimbangan lagi. Kemudian dalam analisa sistem kelistrikan tanpa menggunakan baterai perlu mempertimbangkan SLD seperti pada gambar dibawah ini



GAMBAR 2.2 SINGLE LINE DIAGRAM TANPA BATERAI

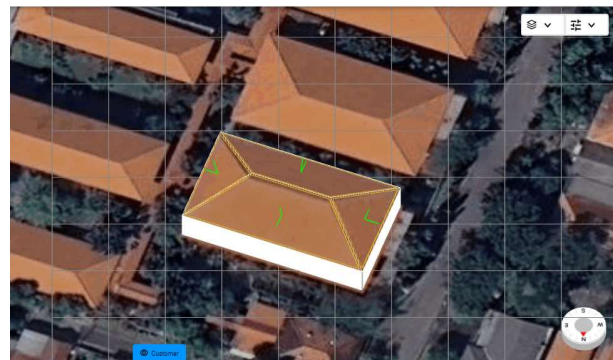
Untuk memaksimalkan pemanfaatan area atap untuk mengetahui potensi daya listrik yang dihasilkan maka perancangan penelitian ini dimulai dari menghitung luas area efektif, menentukan jenis panel surya dan menghitung inverter sesuai dengan daya.

Perancangan dan simulasi PLTS Atap menggunakan OpenSolar yaitu sebuah aplikasi gratis yang diciptakan oleh Andrew Birch dan Adam Pryor. Prosedur yang dilakukan dalam merancang PLTS Atap yang pertama adalah pengumpulan data awal, memasukkan koordinat lokasi gedung K4, mengukur atap sehingga dapat di prediksi berapa banyak panel surya yang dapat dipasang, melakukan analisa bayangan, menghitung kebutuhan inverter, kemudian mensimulasikan berapa besar energi listrik yang dihasilkan dalam setahun dan perbulan.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Analisa Lokasi Pemasangan Panel Surya dan Bayangan

Dalam analisa pemasangan panel surya telah dilakukan survei awal terkait dengan bentuk atap dimana bentuk atap gedung K4 adalah perisai. Bentuk atap ini bisa dilihat secara langsung maupun melalui google maps atau OpenSolar. Tampilan bentuk atap melalui OpenSolar dapat dilihat pada gambar sebagai berikut



GAMBAR 3.1 BENTUK ATAP GEDUNG K4

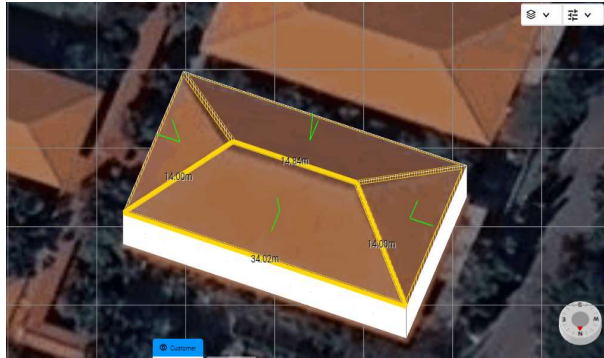
Pemilihan gedung K4 selain karena kegunaannya tapi juga lokasinya paling ujung di fakultas vokasi dan paling luas atapnya. Disekeliling gedung juga tidak ada pohon yang tingginya melewati atap sehingga tidak membuat bayangan. Yang perlu diperhatikan juga terkait bayangan bangunan atau gedung disebelahnya. Kemudian yang perlu diperhatikan juga terkait bayangan panel surya sehingga perlu dieck teknis pemasangan, derajat, jarak dan juga kemiringan panel surya yang akan dipasang. Analisa bayangan perlu diperhatikan selain mempengaruhi daya yang dihasilkan juga dapat mengakibatkan hot spot pada panel surya untuk itu perlu di pasang bypass diode yang fungsinya untuk mengalirkan listrik tanpa melewati modul yang terkena bayangan partial.

Untuk mengoptimalkan penerimaan cahaya maka bangunan yang berlokasi di selatan katulistiwa arah panel surya menghadap utara. Sehingga yang digunakan hanya atap yang menghadap utara, sedangkan atap bagian timur dan barat tidak digunakan.

#### 3.2 Analisa Perhitungan Luas Atap

Analisa perhitungan atap dapat dilakukan secara manual dengan meteran gulung atau meteran laser. Namun secara sederhana dapat menggunakan perangkat lunak Google Earth

atau OpenSolar untuk survei awal.



GAMBAR 3.2 PERHITUNGAN LUASAN ATAP GEDUNG K4

### 3.3 Analisa Sistem Kelistrikan

Kemudian menentukan pemilihan jenis panel surya apakah menggunakan mono atau poly pada keadaan terhalang [10]. Pemasangan panel surya dilakukan mengikuti kemiringan dan lereng dari atap dimana azimuth sebesar 20,6 dan kemiringan 20.

Panel surya yang digunakan LR4-72HPH-450M tipe Longi Solar sejumlah 70 panel dengan spesifikasi Pmp 450 Wp, Voc 49,30 V, Vmp 41,50, Isc 11,60 A dan Imp 10,85 A sehingga estimasi kapasitas total sebesar 31.500 Wp. Spesifikasi panel surya dapat dilihat pada gambar dibawah[11][12][13]

**LR4-72HPH 425~455M**

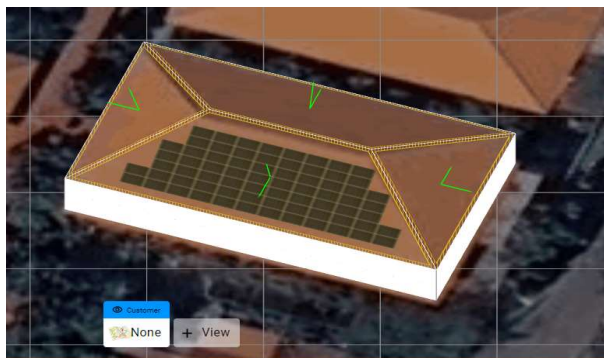
Design (mm)	Mechanical Parameters	Operating Parameters
	Cell Orientation: 144 (6x24) Junction Box: PSE, 3Pin, 600Vdc Output Cable: 4mm <sup>2</sup> , 1400mm in length (for EU DGG) Glass: Single glass 3.2mm coated tempered glass Frame: Anodized aluminum alloy frame Weight: 23.9kg Dimensions: 2056x1028x35mm Mounting: 200mm per panel Packaging: 140pcs per 20'GP Height: 1100mm Weight: 1600kg per 40'HQC	Operational Temperature: -40°C ~ +85°C Power Output Tolerance: 0 ~ +5W Voc and Isc Tolerance: ±3% Maximum System Voltage: DC1500V (IEC616) Maximum Series Fuse Rating: 20A Nominal Operating Cell Temperature: 45±2°C Safety Class: Class II Fire Rating: UL type 1 or 2

Electrical Characteristics		Test uncertainty for Pmax: ±3%												
Model Number		LR4-72HPH-425M	LR4-72HPH-430M	LR4-72HPH-435M	LR4-72HPH-440M	LR4-72HPH-445M	LR4-72HPH-450M	LR4-72HPH-455M	LR4-72HPH-455M					
Testing Condition	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC			
Maximum Power (Pmax/W)	425	317.4	430	321.1	435	324.9	440	328.6	445	332.3	450	336.1	455	339.8
Open Circuit Voltage (Voc/V)	48.3	45.3	48.5	45.5	48.7	45.7	48.9	45.8	49.1	46.0	49.3	46.2	49.5	46.4
Short Circuit Current (Isc/A)	11.23	9.08	11.31	9.15	11.39	9.21	11.46	9.27	11.53	9.33	11.60	9.38	11.66	9.43
Voltage at Maximum Power (Vmp/V)	40.5	37.7	40.7	37.9	40.9	38.1	41.1	38.3	41.3	38.5	41.5	38.6	41.7	38.8
Current at Maximum Power (Imp/A)	10.50	8.42	10.57	8.47	10.64	8.53	10.71	8.59	10.78	8.64	10.85	8.70	10.92	8.75
Module Efficiency(%)	19.6		19.8		20.0		20.2		20.5		20.7		20.9	

STC (Standard Testing Conditions): Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Cell Temperature 25°C, Spectra at AM1.5  
 NOCT (Nominal Operating Cell Temperature): Irradiance 800W/m<sup>2</sup>, Ambient Temperature 20°C, Spectra at AM1.5, Wind at 1m/s

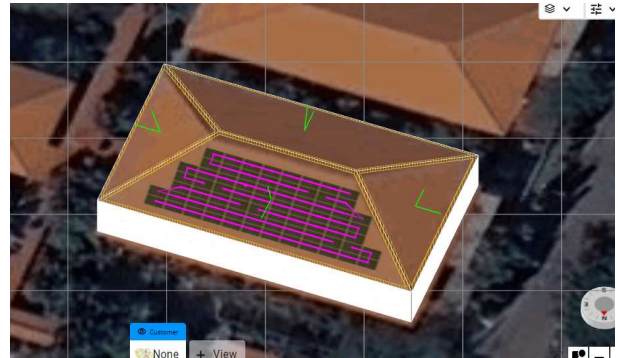
GAMBAR 3.3 SPESIFIKASI TEKNIS LR4-72HPH-450M

Penempatan panel surya LR4-72HPH-450M pada atap gedung K4 dapat dilihat pada gambar 3.4.



GAMBAR 3.4. PELETAKAN PANEL SURYA PADA ATAP GEDUNG K4

Peletakan panel surya dimasukkan untuk mengoptimalkan area atap dan juga iridiansi[14][15]. Kemudian perhitungan selanjutnya menentukan string dari 70 panel surya.



GAMBAR 3.5 PEMILIHAN STRING PANEL SURYA

Dimana dalam 1 inverter ada 14 panel surya sehingga dibutuhkan 5 inverter dengan tipe Goodwe GW5K-DT. Pada gambar 3.4 terlihat jalur string.

INVERTER	
Merk Inverter	Goodwe GW5K-DT G2
Kapasitas	5.000
Max DC Power Input	7.500
Max DC Voltage	1.000
Min DC Voltage MPP	180
Max DC Voltage MPP	850
Jumlah MPPT	2
String/MPPT	1
Max DC Current per MPPT	16

GAMBAR 3.6 SPESIFIKASI INVERTER

Pemilihan inverter di perlu diperhatikan untuk kapasitas dan DC/AC Rasio untuk per inverter. DC/AC rasio per inverter sebesar 1,26[16]. Dimana inverter ini digunakan untuk mengkonversi tegangan DC menjadi AC menyesuaikan jenis beban yang ada.

Untuk memastikan adanya bayangan disebabkan oleh bangunan sekitar, pohon maupun dari panel surya itu sendiri perlu dilakukan simulasi bayangan.

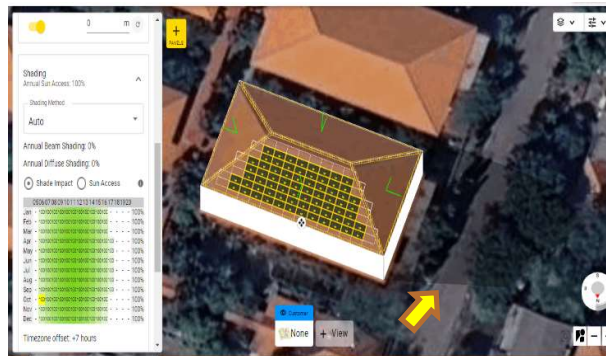
Dari perangkat lunak OpenSolar memiliki fitur analisa bayangan selama setahun mulai dari bulan Januari hingga bulan Desember[17]. Kemudian untuk waktu mengindikasikan dimana letak posisi matahari sehingga dapat di amati bayangan. Pada gambar 3.7 dapat dilihat bahwa bagian atas mengindikasikan jam mulai dari jam 5 pagi hingga jam 8 malam, di bagian kiri informasi bulan sedangkan pada sisi kanan mengindikasikan berapa prosentasi area atap tidak tertutup oleh bayangan.

	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Jan	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100%
Feb	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100%
Mar	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100%
Apr	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100%
May	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100%
Jun	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100%
Jul	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100%
Aug	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100%
Sep	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100%
Oct	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100%
Nov	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100%
Dec	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100%

Timezone offset: +7 hours

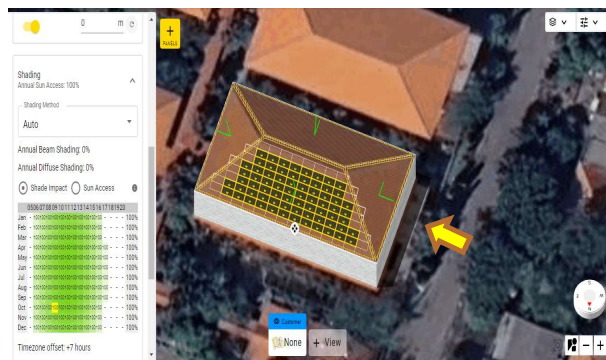
GAMBAR 3.7 FITUR ANALISA BAYANGAN SELAMA 1 TAHUN

Untuk melakukan analisa bayangan ini dipilih pada bulan oktober dengan jam-jam tertentu. Simulasi pertama dilakukan padan jam 06.00 pagi hari.



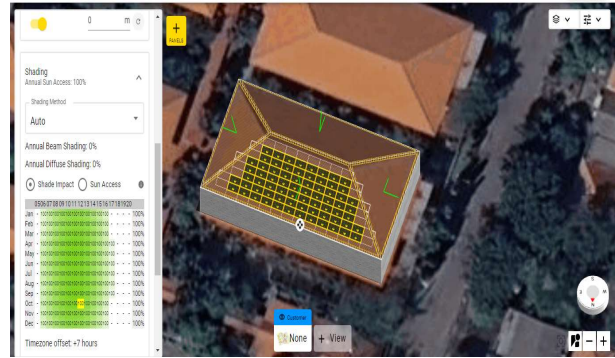
GAMBAR 3.8 PREDIKSI ARAH BAYANGAN PADA JAM 06.00

Arah bayangan pada jam 06.00 dapat dilihat pada tanda panah warna kuning dapat di amati bahwa panel surya tidak tertutup bayangan. Kemudian di amati pada jam 09.00 panel surya juga tidak tertutup bayangan



GAMBAR 3.9 PREDIKSI ARAH BAYANGAN PADA JAM 09.00

Pada jam 12.00 dapat dilihat bahwa posisi matahari berada tepat di atas sehingga tidak ada bayangan yang terlihat pada gambar 3.10



GAMBAR 3.10 PREDIKSI ARAH BAYANGAN PADA JAM 12.00



GAMBAR 3.11 PREDIKSI ARAH BAYANGAN PADA JAM 14.00

Sedangkan pada jam 14.00 dapat dilihat bayangan pada sisi timur bangunan.

Shade Impact  Sun Access

	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Jan	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97%
Feb	-	-	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96%
Mar	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97%
Apr	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100%
May	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100%
Jun	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100%
Jul	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100%
Aug	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100%
Sep	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100%
Oct	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98%
Nov	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98%
Dec	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98%

Timezone offset: +7 hours

GAMBAR 3.12 SIMULASI PLANE OF ARRAY (POA)

Dari simulasi Plane of Array dapat dilihat prosentase iridiansi matahari pada permukaan modul. Dapat diamati bahwa iridiansi matahari maksimal pada bulan April, Mei, Juni, Juli, Agustus dan September[18] dengan prosentase sebesar 100% dan terendah pada bulan februari. POA ini mewakili iridiansi yang diterima oleh panel surya yang dipengaruhi oleh geometri, posisi matahari dan kondisi langit.

Untuk simulasi menggunakan OpenSolar dapat di prediksi berapa energi listrik yang dihasilkan tiap bulan dengan total 35,478 kWh per tahun.

Month	Solar Generation (kWh)
Jan	2,473
Feb	2,408
Mar	2,945
Apr	3,002
May	3,450
Jun	3,253
Jul	3,329
Aug	3,417
Sep	3,031
Oct	2,984
Nov	2,693
Dec	2,493

GAMBAR 3.12 SIMULASI ENERGI LISTRIK YANG DIHASILKAN

Jika membandingkan antara data POA dan Energi listrik yang dihasilkan sesuai dimana nilai pembangkitan relatif tinggi pada bulan April hingga September dan paling rendah pada bulan Februari. Hal ini disebabkan luaran panel surya dipengaruhi oleh iradiansi dan temperatur.

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini menganalisis potensi daya listrik PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) atap di Gedung K4 Universitas Negeri Surabaya menggunakan perangkat lunak OpenSolar untuk mendukung pemanfaatan energi terbarukan di institusi pendidikan. Penelitian ini penting mengingat target transisi energi nasional dan potensi besar energi surya yang belum sepenuhnya dimanfaatkan di Indonesia. Temuan penelitian menunjukkan bahwa atap Gedung K4 dapat menampung 70 panel surya dengan jenis LR4-72HPH-450M yang mampu menghasilkan energi sebesar 35.478 kWh per tahun, dengan kapasitas terpasang 31.500 Wp. Selain itu, simulasi menunjukkan bahwa lokasi ini optimal karena minim pengaruh bayangan dari struktur sekitar.

Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya mengenai potensi PLTS atap di institusi lain, seperti di Politeknik Negeri Semarang dan Gedung Kantor Bupati Temanggung, yang juga menunjukkan efisiensi penggunaan atap sebagai sumber energi listrik berbasis surya. Hasil penelitian ini mendukung pemanfaatan PLTS atap untuk gedung-gedung institusi, khususnya untuk mendukung kebutuhan energi siang hari tanpa memerlukan sistem penyimpanan baterai.

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan agar dilakukan pengukuran data empiris dari konsumsi energi di Gedung K4 guna membandingkan prediksi simulasi dengan kondisi nyata. Selain itu, penggunaan perangkat lunak lain atau pembaruan data iradiansi lokal dapat memberikan hasil yang lebih akurat dan memperkaya validitas penelitian. Penelitian ini juga dapat diperluas

ke gedung-gedung lain di lingkungan kampus untuk mendapatkan gambaran lengkap potensi penerapan PLTS di area yang lebih luas.

#### REFERENSI

- [1] D. Octavia, A. Utama, D. Tampoy, and R. C. Rohmana, "STUDI POTENSI PLTS ATAP DI MAKASSAR UNTUK MENINGKATKAN PENGGUNAAN ENERGI TERBARUKAN DAN MENGURANGI EMISI KARBON," *PETRO: Jurnal Ilmiah Teknik Perminyakan*, vol. 12, no. 4, pp. 233-246, 2023.
- [2] E. A. Karuniawan, F. A. F. Sugiono, P. D. Larasati, and A. R. Pramurti, "Analisis potensi daya listrik plts atap di gedung direktorat politeknik negeri semarang dengan perangkat lunak pvsyst," *Journal of Energy and Electrical Engineering*, vol. 4, no. 2, 2023.
- [3] A. Damasari, F. N. Afifah, and A. P. Nugroho, "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Gedung Kantor Bupati Kabupaten Temanggung," *Jurnal Teknik Industri Manajemen dan Manufaktur*, vol. 1, no. 1, pp. 16-24, 2024.
- [4] W. Syahrir, "Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Sistem On Grid di Gedung Kantor Pelabuhan PT. Pupuk Kalimantan Timur," *Syntax Idea*, vol. 6, no. 1, pp. 470-487, 2024.
- [5] S. Susan, D. K. Wardhani, Y. Ariyanto, D. M. Wonohadidjojo, and E. Harianto, "Evaluation of BIPV performance based on the GreenShip Standard Towards Net Zero School Building," 2023.
- [6] H. Nurjaman and T. Purnama, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai solusi energi terbarukan rumah tangga," ed: Nov, 2022.
- [7] F. Raffi, E. Kurniawan, and K. B. Adam, "Analisis Plts Atap On Grid Di Pesantren Al Mukaromah," *eProceedings of Engineering*, vol. 11, no. 1, 2024.
- [8] W. Ridwan and Z. Tharo, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid Pada Gedung Serbaguna Pondok Pesantren Sejahtera," *JOURNAL OF ELECTRICAL AND SYSTEM CONTROL ENGINEERING*, vol. 8, no. 1, pp. 173-180, 2024.
- [9] M. B. Arief, M. Widyartono, W. Aribowo, and A. L. Wardani, "Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid dan Monitoring Berbasis Node-Red," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 11, no. 1, pp. 45-50, 2024.
- [10] A. L. Wardani, "Perbandingan Antara Solar Cell Tipe Monocrystalline Dan Polycrystalline Pada Keadaan Terhalang Untuk Pertimbangan Pemilihan Pembangkit Tenaga Surya," *ReTII*, pp. 251-256, 2019.
- [11] M. M. Wibowo, S. Kardiman, and I. M. Sutoyo, "Design and Performance Evaluation of Rooftop Solar PV System in Tropical Climate Using PVSyst Software: A Case Study in Indonesia," *Renewable Energy*, vol. 153, pp. 302-311, Oct. 2020.
- [12] A. M. Afifah, B. Nugroho, and F. D. Syamsudin, "Analysis of Solar Photovoltaic Potentials in University Buildings: A Study Using Helioscope Software," *International Journal of Renewable Energy Research*, vol. 11, no. 3, pp. 1456-1465, Sept. 2021.
- [13] Y. Xu, W. Gu, J. Hu, and X. Lu, "Impact of Orientation and Tilt Angle on the Performance of Rooftop Photovoltaic

- Systems in Subtropical Regions," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 513–521, Mar. 2022.
- [14] K. R. Rakhmawati, T. Setiawan, and W. Aribowo, "Shading Analysis for Solar Photovoltaic System: Application on Campus Buildings Using PVsyst," *Journal of Solar Energy Engineering*, vol. 144, no. 2, pp. 2021–2025, May 2021.
- [15] A. Sooriyaarachchi and A. Jayawardane, "Performance Optimization of a Rooftop PV System in Urban Building Environments," *Applied Energy*, vol. 293, no. 4, pp. 120–130, Dec. 2022.
- [16] H. J. Lee, Y. Kim, and S. Park, "Long-Term Feasibility Analysis of Rooftop Solar PV Systems in University Campuses Using Helioscope and PVsyst," *Journal of Cleaner Production*, vol. 290, pp. 1259–1268, Feb. 2022.
- [17] S. Subramani and P. R. Kannan, "Impact of Seasonal Variation on Rooftop Solar Photovoltaic System Performance in Southeast Asia," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 143, pp. 191–204, Jan. 2023.
- [18] F. U. Safitri, A. N. Hakim, and N. Yusuf, "Simulated Performance Assessment of Grid-Connected Rooftop Solar PV Systems in Various Indonesian Regions," *Energy Conversion and Management*, vol. 254, pp. 1600–1607, June 2023.