

Perancangan dan Analisis Tekno-Ekonomi PLTS Atap *On-Grid* Gedung *Workshop 7* Politeknik Negeri Batam Menggunakan *Software Pylon dan Pvsyst*

Yusiran^{1*}, Faieziel Ewaldo², Hasnira³, dan Lalu Kaisar Wisnu Kita⁴
^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Batam
*Corresponding Author : yusiran@polibatam.ac.id



Abstrak—Energi listrik sangat penting bagi kehidupan sehari-hari, seperti penerangan, transportasi dan komunikasi. Seiring perkembangan populasi, investasi, teknologi dan perluasan pendidikan, kebutuhan listrik meningkat signifikan. Indonesia beruntung memiliki potensi energi terbarukan yang sangat besar, dengan total kapasitas 432 GW, sekitar 7 hingga 8 kali lebih besar dari kapasitas pembangkit listrik saat ini. Namun, bauran energi listrik Indonesia masih didominasi oleh pembangkit listrik berbahan bakar fosil, seperti batu bara dan gas alam. Dengan meningkatnya kesadaran akan dampak lingkungan dan perlunya mengurangi emisi karbon, peralihan ke energi terbarukan menjadi prioritas. Energi surya, misalnya, memiliki potensi terbesar di Indonesia dengan kapasitas sekitar 207,8 GW, diikuti oleh energi hidro sebesar 75 GW, angin 60,6 GW, biomassa 32,6 GW, dan panas bumi 23,9 GW. Berdasarkan data Rencana Umum Energi Daerah Provinsi Kepulauan Riau, potensi energi surya di Kepulauan Riau mencapai 7.760 MWp, menjadikannya fokus utama dalam upaya mencapai Ketahanan Energi Nasional. Politeknik Negeri Batam, sebagai Perguruan Tinggi Negeri, berperan penting dalam mendukung transisi energi bersih. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelayakan teknis dan ekonomis perancangan PLTS Atap di Gedung *Workshop 7*. PLTS berkapasitas 64 kW, diproyeksikan menghasilkan 80.358 kWh per tahun. Hasil simulasi pada Pvsyst menunjukkan *Performance Ratio* sebesar 76,4%, menjadikan sistem ini layak secara teknis. Secara ekonomis, biaya energi (LCOE) sebesar Rp 878,46/kWh, dengan hasil investasi positif melalui *Payback Period*, NPV, PI, IRR, dan ROI. Oleh karena itu, perancangan sistem PLTS di Gedung *Workshop 7* dinyatakan layak untuk dilanjutkan dan dikembangkan.

Kata Kunci: Energi Surya, PLTS, Kelayakan Teknis dan Ekonomis

Abstract—Electricity is crucial for daily life, powering things like lighting, transportation, and communication. As the population, investments, technology, and education increase, the demand for electricity rises. Indonesia has a huge potential for renewable energy, with a total capacity of 432 GW, about 7 to 8 times bigger than the current electrical power generation. However, the country's energy is still mostly powered by fossil fuels like coal and natural gas. As awareness of environmental impact and the need to cut carbon emissions grow, the shift to renewable energy is becoming a priority. Solar energy holds the biggest potential in Indonesia, with a capacity of 207.8 GW, followed by hydro (75 GW), wind (60.6 GW), biomass (32.6 GW), and geothermal (23.9 GW). According to Riau Island's Energy Plans, solar energy in the region has a potential of 7,760 MWp, making it a key focus in achieving national energy security. Politeknik Negeri Batam, as a state university, plays a crucial role in supporting the shift to clean energy. This research aims to analyze the technical and economic feasibility of designing a Rooftop Solar Power Plant (PLTS) at the Workshop 7 Building. The 64 kW of Solar Panel is expected to generate 80,358 kWh annually. Simulation results using Pvsyst show a Performance Ratio of 76.4%, proving its technical feasibility. Economically, the energy cost (LCOE) is Rp 878.46/kWh, with positive investment returns shown through Payback Period, NPV, PI, IRR, and ROI. Thus, the PLTS design is feasible for further development.

Keywords: Solar Energy, Photovoltaic, Technical and Economic Feasibility

© 20xx Elektron Jurnal Ilmiah

I. PENDAHULUAN

Energi listrik menjadi kebutuhan yang berpengaruh bagi kelangsungan hidup manusia karena merupakan sumber daya ekonomi yang artinya dapat memberikan manfaat ekonomis. Kebutuhan listrik di masa depan diprediksi akan mengalami kenaikan yang drastis. Keadaan tersebut, disebabkan oleh beberapa faktor, seperti pertambahan penduduk, banyaknya investasi, kemajuan teknologi, dan meningkatnya akses pendidikan di semua tingkatan. Tren ini menuntut solusi jitu untuk mengelola energi secara berkelanjutan dan mempersiapkan kebutuhan mendatang.

Berdasarkan data Kementerian ESDM, Indonesia memiliki potensi energi baru-terbarukan yang sangat besar, yaitu mencapai 432 GW. Jumlah tersebut setara dengan 7 - 8 kali lipat dari total kapasitas pembangkit listrik yang ada saat ini. Namun, realitanya pasokan listrik saat ini masih didominasi oleh sumber energi fosil seperti batu bara dan minyak bumi yang dapat mencemari lingkungan. Potensi energi terbarukan masih belum sepenuhnya bisa dimanfaatkan secara maksimal. Hanya sekitar 7 GW yang sudah digunakan untuk keperluan komersial [1]. Meskipun demikian, proyeksi dari Rencana Usaha Penyediaan Tenaga

Listrik (RUPTL) 2019-2028 akan ada penambahan kapasitas pembangkit energi baru-terbarukan sekitar 29 GW yang akan dilakukan oleh PLN hingga tahun 2028. Hal ini menunjukkan upaya pemerintah dalam melakukan peningkatan pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia [1].

Sebagai contoh, berikut adalah data potensi aneka energi baru dan terbarukan Provinsi Kepulauan Riau yang telah disusun dan tercantum pada Rencana Umum Energi Daerah (RUED) Provinsi Kepulauan Riau [2]:

Tabel 1. Potensi Aneka Energi Baru dan Terbarukan di Provinsi Kepulauan Riau (RUED Provinsi Kepri Tahun 2023-2050)

Energi Terbarukan	Potensi (dalam MW)						
Biomass	11,6						
Biogas	4,3						
Surya	7.760						
Angin	922						
Panas Bumi	Sumberdaya			Sumberdaya			
	Spekulatif	Spekulatif	Total	Possible	Probable	Proven	Total
	100	6	106	-	-	-	-
Energi Laut	Teoritis	Teknis		Praktis		Total	
	96.432	24.108		6.027		126.567	

Mengacu pada data RUED Provinsi Kepulauan Riau, potensi energi surya menunjukkan kapasitas yang sangat besar, diproyeksikan mencapai 7.760 MWp, sehingga optimalisasi pemanfaatan energi surya sebagai sumber pembangkit listrik menjadi salah satu program prioritas pemerintah dalam mewujudkan ketahanan energi nasional bagi masyarakat. Sebagai langkah konkret, pemerintah telah mengeluarkan Kebijakan Energi Nasional (KEN), yang diatur dalam Peraturan Pemerintah (PP) No. 79 Tahun 2014. Kebijakan ini menetapkan target pemanfaatan EBT sebesar 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050, sebagai bagian dari keseluruhan kebutuhan energi nasional [2]. Salah satu bentuk peran strategis dalam penerapan transisi energi bersih khususnya energi surya, dapat dimulai dari Perguruan Tinggi Negeri dengan melakukan riset, edukasi, dan advokasi mengenai energi terbarukan, terlibat dalam diskusi kebijakan bersama pemerintah serta melakukan promosi praktik energi bersih dengan melibatkan peran industri kepada masyarakat umum.

Penerapan energi suryadapat dimulai dari PTN untuk mendukung transisi energi nasional dan mewujudkan pembangunan berkelanjutan, tetapi juga memberikan manfaat ekonomis dan lingkungan yang bersih. Sejalan dengan komitmen Politeknik Negeri Batam dalam akselerasi transisi energi nasional dan mewujudkan kampus yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

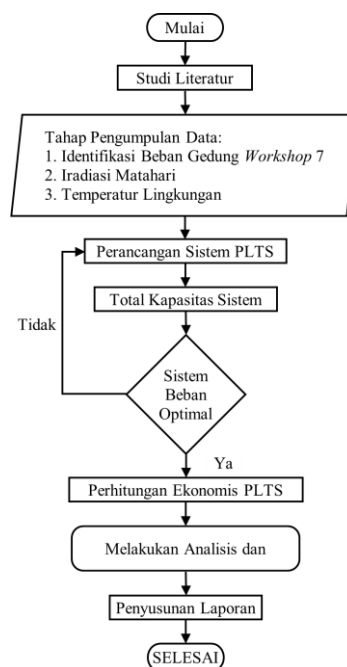
Tujuan penelitian ini berfokus pada analisis perencanaan pembangunan PLTS berdasarkan kelayakan teknis dan ekonomis untuk sistem PLTS atap di Gedung *Workshop 7* Laboratorium Listrik dan Mesin

Politeknik Negeri Batam. Pemilihan Gedung *Workshop 7* sebagai objek penelitian didasarkan pada beberapa pertimbangan berikut ini:

1. Representasi Gedung Inovasi Energi Alternatif: Gedung *Workshop 7* bukan hanya sekadar ruang belajar, tetapi dapat berperan sebagai simbol komitmen Politeknik Negeri Batam dalam mendorong inovasi dan pengembangan energi terbarukan, sekaligus proses percepatan upaya transisi energi di lingkungan kampus.
2. Fungsi sebagai Laboratorium Energi: Ke depannya, Gedung *Workshop 7* dapat dimanfaatkan untuk penelitian di bidang energi terbarukan, khususnya pada bidang energi surya, oleh para dosen dan mahasiswa.
3. Dukungan Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi: Prodi dapat mendukung mahasiswa untuk menerapkan penemuan teknologi dalam proses proses *monitoring*, pemeliharaan, dan analisis data. Sehingga ilmu dan kompetensi mahasiswa di bidang PLTS meningkat.
4. Kebutuhan Energi dan Karakteristik Gedung: Konsumsi energi listrik di Gedung *Workshop 7* cukup signifikan. Hal ini membuka peluang besar untuk melakukan penghematan biaya dengan penerapan PLTS atap. Serta karakteristik fisik gedung, seperti luas atap dan orientasi bangunan, sangat mendukung optimalisasi pemanfaatan energi surya.

II. METODE

Tahapan penelitian pada sistem PLTS atap secara *on-grid* di Gedung *Workshop 7* dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir berikut ini:



Gambar 1. Flowchart Perencanaan Penelitian

1). Studi Literatur

Mengumpulkan dan mempelajari teori dasar serta referensi ilmiah terkait sistem PLTS, khususnya pada komponen utama seperti panel surya dan inverter, metode perancangan sistem *on-grid*, serta studi kelayakan teknis dan ekonomi pada sistem PLTS atap. Literatur diambil dari jurnal, buku dan sumber bacaan lainnya yang berkaitan dengan PLTS. Selain itu, memahami penggunaan *software* Pylon dan Pvsyst untuk mendukung metode perancangan sistem.

2). Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui metode langsung seperti observasi lapangan dan wawancara, serta metode tidak langsung seperti studi literatur. Data yang telah dikumpulkan diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer mencakup hasil survei langsung ke lokasi penelitian dan informasi dari instansi yang berkaitan, seperti data beban harian di Gedung *Workshop 7* yang diukur menggunakan *Power Quality Analyzer*, tingkat iradiasi matahari yang diukur dengan *Solar Power Meter*, luas efektif atap bangunan, dan data teknis lainnya. Sementara itu, data sekunder mencakup data iradiasi matahari dan *temperature* lokasi melalui situs PVGIS, estimasi biaya investasi PLTS, spesifikasi teknis komponen, dan suku bunga acuan dari situs resmi Bank Indonesia.

3). Perancangan Sistem PLTS

Tahapan awal dimulai dengan perancangan struktur dan konfigurasi sistem PLTS berdasarkan data yang telah dikumpulkan. Perancangan mencakup penentuan jumlah dan jenis panel surya, spesifikasi inverter, konfigurasi sistem kelistrikan, serta layout pemasangan di atap Gedung *Workshop 7*.

4). Total Kapasitas Sistem

Penentuan kapasitas total sistem PLTS dihitung berdasarkan jumlah panel terhadap luas area atap dan kapasitas daya untuk satu panel. Dalam penelitian ini, kapasitas sistem dirancang sebesar 64 kWp.

5). Evaluasi Sistem Beban Optimal

Setelah sistem PLTS dikonfigurasi, dilakukan evaluasi teknis untuk memastikan kinerja sistem PLTS beroperasi secara optimal. Evaluasi berfokus pada *Performance Ratio* (PR) dan *Specific Yield*. Nilai PR yang tinggi berarti sistem efisien, sedangkan nilai *Specific Yield* yang tinggi menunjukkan sistem menghasilkan energi secara konsisten sesuai potensi iradiasi matahari. Jika hasil evaluasi belum mencapai target, sistem dapat disesuaikan agar lebih optimal.

6). Perhitungan Ekonomis PLTS

Untuk menilai kelayakan investasi sistem PLTS perlu adanya perhitungan yang mencakup indikator finansial seperti biaya investasi, biaya operasional dan pemeliharaan, *Levelized Cost of Electricity* (LCOE), *Return on Investment* (ROI), *Payback Period* (PP) dan

Internal Rate of Return (IRR). Tahap ini penting untuk menilai efisiensi biaya serta proyeksi keuntungan dari implementasi sistem PLTS dalam jangka panjang.

7). Melakukan Analisis

Analisis teknis dan finansial dilakukan untuk mendapatkan gambaran performa sistem secara menyeluruh, mencakup analisa teknis dan ekonomis *Performance Ratio* (PR), total energi yang dihasilkan, *shading losses*, serta biaya investasi secara keseluruhan untuk memberikan penilaian objektif terhadap kelayakan sistem dari sisi teknis dan ekonomis.

8). Penyusunan Laporan

Laporan disusun secara sistematis dan terstruktur, mengikuti kaidah penulisan ilmiah agar dapat digunakan sebagai referensi dan acuan akademik dalam pengembangan sistem energi terbarukan di lingkungan pendidikan maupun industri.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Desain dan Perancangan Sistem PLTS Atap

1). Objek Penelitian

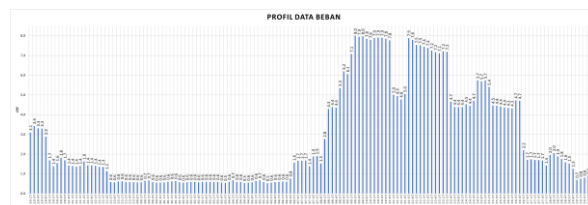
Penelitian dilakukan pada Gedung *Workshop 7* Laboratorium Listrik dan Mesin Politeknik Negeri Batam, Jl. Ahmad Yani, Batam Kota, Kota Batam, Kepulauan Riau, Indonesia. Berada pada koordinat *Longitude* 104.048°, *Latitude* 1.1185°, dengan posisi depan gedung menghadap timur. Titik lokasi yang akan dipasang solar panel tampak pada gambar 2.



Gambar 2. Titik Lokasi Pembangunan PLTS

2). Data Identifikasi Beban Listrik

Data beban harian Gedung *Workshop 7* diukur secara langsung menggunakan *Power Quality Analyzer* pada hari kerja, tepatnya ditanggal 5 Juni 2024 sampai 6 Juni 2024 dengan durasi selama 24 jam.



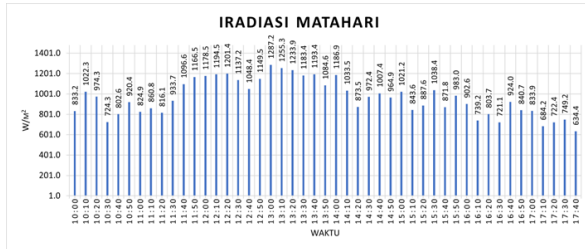
Gambar 3. Hasil Pengukuran Beban Harian Gedung *Workshop 7*

Total penggunaan energi listrik di Gedung *Workshop 7* dalam satu hari sebesar 10.008 kWh/hari. Jika diproyeksikan bahwa beban harian selama sebulan

adalah tetap maka total kalkulasi beban perbulan sebesar 302.493 kWh/hari.

3). Data Iradiasi Matahari

Energi yang dihasilkan PLTS dapat diperkirakan berdasarkan seberapa banyak iradiasi matahari yang diterima atap Gedung *Workshop 7*. Pengambilan data iradiasi matahari dilakukan melalui dua cara, data pertama diperoleh dengan melakukan pengukuran langsung di Gedung *Workshop 7* menggunakan *Solar Power Meter* pada tanggal 11 Desember 2024, selama 7 jam, mulai dari pukul 10.00 WIB sampai 17.40 WIB dengan interval 10 menit.



Gambar 4. Hasil Pengukuran Iradiasi Matahari Gedung *Workshop 7*

Pengambilan data kedua menggunakan data iradiasi yang terdapat pada situs PVGIS. Pengambilan data ini mencakup periode waktu yang lebih lama, dari bulan bulan Januari 2020 hingga Desember 2020.

Tabel 2. Data Iradiasi Matahari Wilayah Lingkungan Gedung *Workshop 7* Tahun 2020 (PVGIS ©European Union)

Bulan	Iradiasi Matahari (Wh/m ² /bulan)			
	H(h)	Hb(n)	H(i opt)	H(90)
Januari	166.29	166.24	168.92	111.18
Februari	170.35	171.22	172.01	84.33
Maret	186.81	177.05	187.05	50.48
April	160.12	141.75	159.08	25.91
Mei	142.72	115.81	140.99	28.41
Juni	119.53	95.36	117.83	25.06
Juli	136.69	115.85	134.79	25.88
Agustus	158.62	138.56	157.1	28.05
September	124.45	89.44	124.26	32.77
Oktober	154.34	124.03	155.23	70.48
November	127.21	92.97	128.55	77.78
Desember	149.96	134.8	152.37	106.78

Keterangan:

- H(h) = Iradiasi pada bidang horizontal (kWh/m²/bulan)
- Hb(n) = Penyinaran sinar bulanan (langsung) pada bidang yang selalu normal terhadap sinar matahari (kWh/m²/bulan)
- H(opt) = Iradiasi pada bidang miring optimal (kWh/m²/bulan)
- H(90) = Iradiasi pada permukaan sudut bidang miring 90°(kWh/m²/bulan)

4). Data *Temperature* Lingkungan

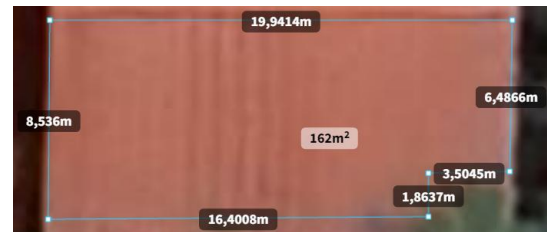
Data *temperature* lingkungan di Gedung *Workshop 7* penting untuk di analisis karena daya keluaran panel surya akan menurun saat suhu panel meningkat, dan besarnya penurunan ini dipengaruhi oleh koefisien suhu panel. Data *temperature* lingkungan diambil dari bulan Januari 2020 hingga Desember tahun 2020 menggunakan data dari situs PVGIS.

Tabel 4. Data *Temperature* Lingkungan Gedung Wilayah Gedung *Workshop 7* Tahun 2020 (PVGIS ©European Union)

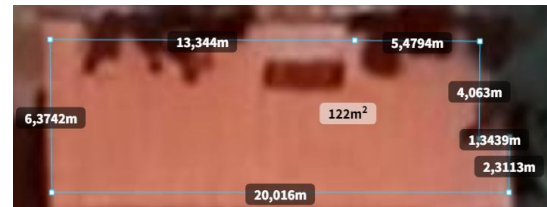
Bulan	<i>Temperature</i> (°C)
	Rata-rata
Januari	27,7
Februari	27
Maret	27,7
April	27,7
Mei	28
Juni	27,5
Juli	27
Agustus	27,6
September	26,8
Oktober	27,4
November	26,6
Desember	25,8

5). Data Luasan Atap Efektif pada Gedung *Workshop 7*

Sistem PLTS Atap Gedung *Workshop 7* dirancang sesuai luasan atap yang bisa dipasang panel surya. Total luas permukaan atap yang efektif untuk panel surya adalah 284 m², dengan luasan efektif atap sisi kanan sebesar 162 m² dan pada atap sisi kiri 122 m². Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *software Pylon*.



Gambar 5. Luasan Efektif Sisi Kanan Atap Gedung *Workshop 7*



Gambar 6. Luasan Efektif Sisi Kiri Atap Gedung *Workshop 7*

B. Penentuan Kapasitas Sistem PLTS

Ada dua aspek utama yang harus diperhitungkan untuk menentukan jumlah komponen yang ideal. Pertama, jumlah panel surya yang digunakan, dan kedua, kapasitas inverter yang mampu mengonversi energi listrik secara optimal dari panel-panel surya. Dalam penelitian ini, menggunakan panel surya dengan kapasitas 640 Wp dan inverter dengan kapasitas daya 50 kW.

1). Penentuan Jumlah Panel Surya

Penentuan jumlah panel dihitung berdasarkan rasio luasan atap efektif dengan luas panel surya.

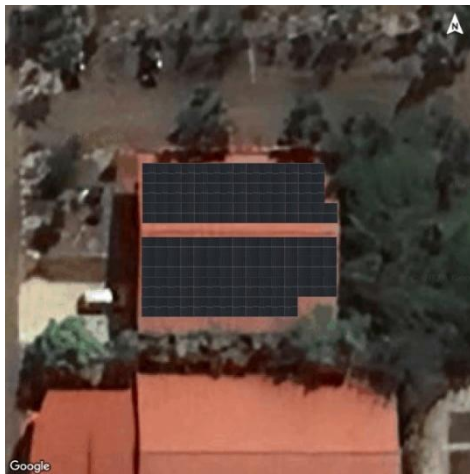
- a) Perhitungan jumlah panel surya pada sisi kanan atap

$$\begin{aligned} \text{Jumlah panel surya sisi atap kanan} &= \frac{\text{Luasan efektif atap}}{\text{Luas panel surya}} \\ &= \frac{162 \text{ m}^2}{2,83 \text{ m}^2} \\ &= 57 \text{ panel} \end{aligned}$$

b) Perhitungan jumlah panel surya pada sisi kiri atap

$$\begin{aligned} \text{Jumlah panel surya sisi atap kiri} &= \frac{\text{Luasan efektif atap}}{\text{Luas panel surya}} \\ &= \frac{122 \text{ m}^2}{2,83 \text{ m}^2} \\ &= 43 \text{ panel} \end{aligned}$$

Jumlah panel yang dapat dipasang sebanyak 100 panel surya. Kemiringan (*tilt*) panel di kedua sisi adalah 4.0°, dengan sudut horizontal pada sisi kiri -2.0° dan sisi kanan 2.0°. Desain panel dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Luasan Efektif Sisi Kanan Atap Gedung *Workshop* 7

2). Penentuan Kapasitas Panel Surya

Sebelum menentukan kapasitas inverter, tentukan terlebih dahulu total kapasitas daya yang akan dihasilkan oleh sistem PLTS.

$$\begin{aligned} \text{Total kapasitas daya} &= \text{Jumlah panel} \times \text{Kapasitas daya} \\ \text{panel surya} &\quad \text{per panel} \\ &= 100 \text{ panel} \times 640 \text{ Wp} \\ &= 64.000 \text{ W} \\ &= 64 \text{ kW} \end{aligned}$$

Untuk menentukan inverter yang akan digunakan pada sistem PLTS dengan kapasitas 64 kW, digunakan rasio DC:AC sebesar 1,25 sebagai margin keamanan.

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas inverter} &= \frac{\text{Total kapasitas daya panel surya}}{\text{Faktor DC:AC rasio}} \\ &= \frac{64 \text{ kW}}{1,25} \\ &= 51,2 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, dipilih inverter 50 kW untuk sistem PLTS.

3). Penentuan Jumlah Panel dalam Satu String

Penentuan ini penting agar sistem bekerja pada tegangan yang tepat sesuai standar IEC 61727 yang mengatur hubungan antara sistem PLTS dengan jaringan listrik. Dengan mengikuti standar, jumlah panel dalam satu *string* bisa disesuaikan dengan spesifikasi inverter, sehingga mengurangi kehilangan daya dan menjaga keamanan sistem.

$$\begin{aligned} \text{Jumlah minimal} &= \frac{\text{Tegangan minimal Mpp inverter}}{\text{Tegangan kerja per panel (Vmp)}} \\ &= \frac{200 \text{ V}}{37 \text{ V}} \\ &= 5,4 \text{ panel} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah maksimal} &= \frac{\text{Tegangan maksimal Mpp inverter}}{\text{Tegangan Voc panel surya}} \\ &= \frac{1000 \text{ V}}{44,5 \text{ V}} \\ &= 22,4 \text{ panel} \end{aligned}$$

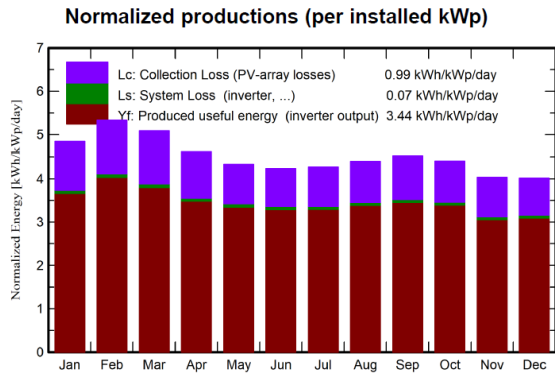
Penting untuk menjaga batas aman dalam satu *string* panel karena jika kurang dari 5, tegangan terlalu rendah sehingga inverter bisa tidak bekerja optimal atau bahkan mati, mengakibatkan sistem tidak menghasilkan listrik maksimal. Sementara jika lebih dari 22, tegangan terlalu tinggi (terutama saat suhu rendah) dan dapat merusak inverter serta komponen lain, yang berujung pada penurunan umur sistem. Berikut desain konfigurasi *string* panel surya pada sistem PLTS.



Gambar 8. Desain *String* Sistem PLTS

C. Estimasi Energi Listrik yang dihasilkan Sistem PLTS

1). Energi Harian yang dihasilkan Sistem PLTS



Gambar 10. Estimasi Energi Listrik yang dihasilkan

Berdasarkan grafik produksi energi listrik harian dari *software Pvsyst*, rata-rata tahunan energi harian yang dihasilkan sekitar 3,44 kWh/kWp/hari. Dengan sistem PLTS yang berkapasitas 64 kWp diperkirakan menghasilkan sekitar 220,15 kWh/hari.

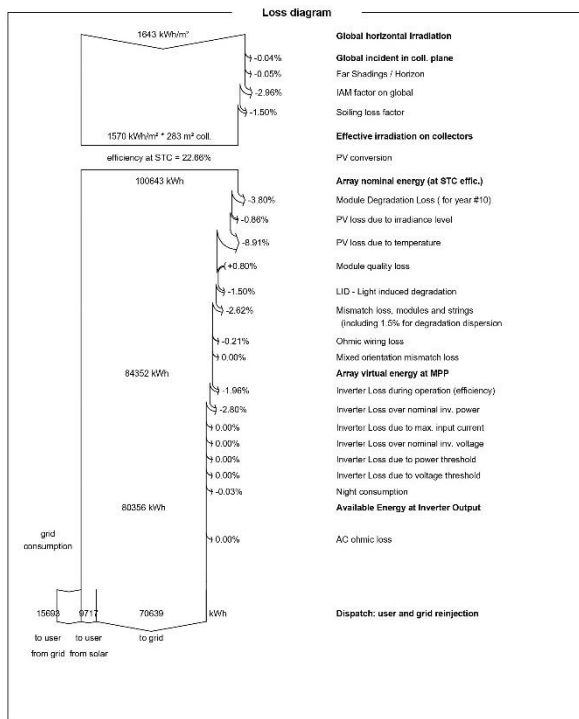
2). Energi Tahunan yang dihasilkan

Proyeksi energi listrik yang dihasilkan setiap tahun oleh sistem PLTS 64 kWp sekitar 80,356 kWh per tahun.

$$\begin{aligned}
 \text{Energi tahunan} &= E_{\text{harian}} \times 365 \text{ hari} \\
 &= 220,15 \times 365 \text{ hari} \\
 &= 80,356 \text{ kWh/tahun}
 \end{aligned}$$

3). Rugi-Rugi Sistem PLTS

Rugi-rugi pada sistem PLTS ditampilkan dalam bentuk *loss diagram* berikut:



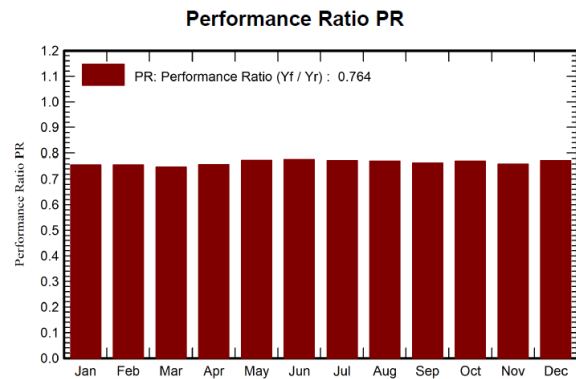
Gambar 11. Grafik Loss Diagram

Setelah mempertimbangkan semua kerugian energi, termasuk bayangan, debu, suhu operasi tinggi, usia panel, serta efisiensi komponen *balance of system* seperti kabel dan inverter, sistem PLTS mampu menghasilkan energi listrik sebesar 80.356 kWh per tahun. Dari jumlah tersebut, 70.639 kWh disalurkan ke jaringan listrik, sementara 9.717 kWh dimanfaatkan langsung untuk penggunaan di Gedung *Workshop 7*. Hasil ini menunjukkan sistem tetap bekerja dengan baik dan efisien dalam mengubah energi matahari menjadi listrik yang siap digunakan, meskipun dipengaruhi oleh berbagai faktor yang mengurangi *output* energi.

D. Analisis Kelayakan Teknis

1). Performance Ratio (PR)

Hasil simulasi sistem PLTS di Gedung *Workshop 7* menunjukkan performa rasio rata-rata tahunan sebesar 0,764 (76,4%), yang cukup stabil dan baik karena di atas 70%. Maka, sistem PLTS ini layak untuk dioperasikan selama waktu teknis berlangsung.



Gambar 12. Performa Rasio Sistem PLTS

2). Specific Yield (SY)

Sistem PLTS berkapasitas 64 kWp menghasilkan 80.356 kWh/tahun, sehingga nilai *specific yield*-nya adalah 1.256 kWh/kWp/tahun. Artinya, setiap 1 kWp kapasitas sistem PLTS menghasilkan 1.256 kWh listrik setiap tahun. Dengan nilai di atas 1.000 kWh/kWp/tahun, sistem ini dinilai layak.

$$\begin{aligned}
 \text{Specific Yield} &= \frac{\text{Output pembangkit (kWh)}}{\text{Kapasitas terpasang (kWp)}} \\
 &= \frac{80.356 \text{ kWh/tahun}}{64 \text{ kWp}} \\
 &= 1.256 \text{ kWh/kWp/tahun}
 \end{aligned}$$

E. Perhitungan Keekonomian Sistem PLTS

1). Biaya Investasi Awal (*Initial Capital Cost*)

Investasi awal mencakup total biaya yang diperlukan saat pembelian dan pemasangan sistem PLTS, termasuk panel surya, inverter, instalasi dan biaya pra-persetujuan jaringan (*Network pre-approval*). Nilai investasi untuk sistem PLTS pada penelitian ini mencapai Rp 595.339.000.

Item	Quantity units	Cost IDR	Total IDR
PV modules			
TSM-DEG21C-20-640Wp Vertex	100	2.500.000,00	250.000.000,00
Supports for modules	100	1.500.000,00	150.000.000,00
Inverters			
SUN2000-50KTL-M3-400V	1	69.839.000,00	69.839.000,00
Studies and analysis			
Engineering	5	8.000.000,00	40.000.000,00
Permitting and other admin. Fees	4	3.000.000,00	12.000.000,00
Economic analysis	1	5.000.000,00	5.000.000,00
Installation			
Transport	2	6.000.000,00	12.000.000,00
Grid connection	5	3.000.000,00	15.000.000,00
Other components	1	10.000.000,00	10.000.000,00
Wiring	5	2.500.000,00	12.500.000,00
Monitoring system, display screen	1	5.000.000,00	5.000.000,00
Measurement system, pyranometer	2	3.000.000,00	6.000.000,00
Surge arrester	2	4.000.000,00	8.000.000,00
		Total	595.339.000,00
		Depreciable asset	469.839.000,00

Gambar 13. Biaya Investasi Awal

2). Biaya Operasional dan Pemeliharaan (O&M Cost)

Pada sistem PLTS O&M Cost mencakup biaya perawatan rutin, penggantian inverter, perbaikan, serta pemeliharaan panel surya. Biaya O&M tahunan sistem PLTS selama 25 tahun sebesar Rp 22.907.800.

Item	Total IDR/year
Maintenance	
Provision for inverter replacement	13.967.800,00
Salaries	4.850.000,00
Repairs	3.290.000,00
Cleaning	1.000.000,00
Total (OPEX)	22.907.800,00
Including inflation (2,75%)	32.332.846,04

Gambar 14. Biaya O&M

3). Nilai Sekarang Operasional (PV_{Operasional})

Nilai sekarang dari biaya operasional dan pemeliharaan sistem PLTS Gedung Workshop 7 selama 25 tahun dengan tingkat diskonto 6,25% adalah Rp 286.009.225.

$$PV_{\text{operasional}} = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$$

$$= Rp 22.907.880 \left[\frac{(1+0,0625)^{25} - 1}{0,0625(1+0,0625)^{25}} \right]$$

$$= Rp 22.907.800 \times 12.485$$

$$= Rp 286.009.225$$

4). Biaya Siklus Hidup (Life Cycle Cost/LCC)

Berdasarkan biaya investasi awal dan nilai sekarang (PV), maka biaya siklus hidup yang harus dikeluarkan sistem PLTS selama 25 tahun yaitu sebesar Rp 881.348.225.

$$LCC = C + PV_{\text{operasional}}$$

$$= Rp 595.339.000 + Rp 286.009.225$$

$$= Rp 881.348.225$$

5). Capital Recovery Factor (CRF)

Dalam penelitian ini, CRF sebesar 0,08 digunakan untuk menghitung biaya tahunan investasi dan operasional, yang berarti 8% dari total investasi perlu dialokasikan setiap tahun harus agar modal bisa kembali selama umur proyek. Nilai ini menjadi dasar perhitungan Cost of Energy (COE) per kWh.

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

$$= \frac{0,0625(1+0,0625)^{25}}{(1+0,0625)^{25} - 1}$$

$$= \frac{0,0625(1,0625)^{25}}{(1,0625)^{25} - 1}$$

$$= \frac{0,0625 \times 4,552}{4,552 - 1}$$

$$= \frac{2,845}{3,552}$$

$$= 0,08$$

6). Biaya Energi (Levelized Cost of Energy/LCOE)

Besar biaya rata-rata produksi listrik dari sistem PLTS adalah Rp 878,48 per kWh, lebih murah dibandingkan tarif listrik PLN untuk golongan tarif P-2/TM pada Juni 2024 sebesar 1.415,01/kWh. Artinya, menggunakan PLTS bisa menghemat biaya listrik dibandingkan memekali listrik dari PLN.

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{A \text{ kWh}}$$

$$= \frac{Rp 881.348.225 \times 0,08}{80.358 \text{ kWh/tahun}}$$

$$= \frac{Rp 70.591.251}{80.356 \text{ kWh/tahun}}$$

$$= Rp 878,48/kWh$$

F. Analisis Kelayakan Ekonomis

1). Modal Investasi (Payback Period)

Berdasarkan laporan keuangan sistem PLTS, modal investasi sebesar Rp 595.339.000 akan kembali setelah sekitar 20,8 tahun. Dilihat dari titik impas (break-even point) pada akumulasi keuntungan, terjadi antara tahun ke-20 dan ke-21.

Financial analysis										
Detailed economic results (KIDR)										
Year	Electricity sale	Own funds	Ran. costs	Deprec. allow.	Taxable income	Taxes	After tax profit	Self-cons. saving	Cumul. profit	% annuall
0	0	595.339.000	0	0	0	0	0	0	-595.339.000	0,0%
1	73.137.328	0	22.907.800	18.793.560	31.435.968	0	50.220.620	7.391.530	-511.137.416	9,1%
2	73.137.328	0	23.537.765	18.793.560	30.806.004	0	49.698.564	7.391.530	-490.623.956	17,6%
3	73.137.328	0	24.168.553	18.793.560	30.158.715	0	48.952.275	7.391.530	-443.645.700	25,5%
4	73.137.328	0	24.802.142	18.793.560	29.493.525	0	48.207.189	7.391.530	-395.950.624	32,0%
5	73.137.328	0	25.533.521	18.793.560	28.819.247	0	47.463.707	7.391.530	-358.346.118	39,6%
6	73.137.328	0	26.266.693	18.793.560	28.168.075	0	46.801.630	7.391.530	-321.608.757	46,0%
7	73.137.328	0	26.987.174	18.793.560	27.586.594	0	46.180.154	7.391.530	-286.563.219	51,9%
8	73.137.328	0	27.698.497	18.793.560	26.945.272	0	45.438.432	7.391.530	-254.036.615	57,3%
9	73.137.328	0	28.402.296	18.793.560	26.265.563	0	44.677.123	7.391.530	-221.982.296	62,4%
10	73.137.328	0	29.242.861	18.793.560	25.100.907	0	43.894.467	7.391.530	-186.891.704	67,1%
11	73.137.328	0	30.047.040	18.793.560	24.296.729	0	43.090.289	7.391.530	-169.876.766	71,4%
12	73.137.328	0	30.873.333	18.793.560	23.470.435	0	42.263.995	7.391.530	-145.985.315	75,5%
13	73.137.328	0	31.722.350	18.793.560	22.621.418	0	41.414.976	7.391.530	-123.797.065	79,2%
14	73.137.328	0	32.584.714	18.793.560	21.749.654	0	40.542.611	7.391.530	-103.283.652	82,7%
15	73.137.328	0	33.491.069	18.793.560	20.852.059	0	39.646.259	7.391.530	-84.337.757	85,0%
16	73.137.328	0	34.412.073	18.793.560	19.931.695	0	38.725.255	7.391.530	-66.805.561	88,6%
17	73.137.328	0	35.368.406	18.793.560	18.985.363	0	37.778.923	7.391.530	-50.739.267	91,5%
18	73.137.328	0	36.330.762	18.793.560	18.013.007	0	36.806.167	7.391.530	-36.997.236	94,0%
19	73.137.328	0	37.329.658	18.793.560	17.013.911	0	35.807.471	7.391.530	-22.248.833	96,3%
20	73.137.328	0	38.356.429	18.793.560	15.987.340	0	34.780.909	7.391.530	-8.703.655	98,4%
21	73.137.328	0	39.411.230	18.793.560	14.932.538	0	33.726.996	7.391.530	9.916.758	100,3%
22	73.137.328	0	40.495.039	18.793.560	13.848.729	0	32.642.289	7.391.530	12.359.259	102,1%
23	73.137.328	0	41.608.653	18.793.560	12.735.115	0	31.528.675	7.391.530	22.511.077	103,7%
24	73.137.328	0	42.752.891	18.793.560	11.590.877	0	30.384.437	7.391.530	30.839.052	105,2%
25	73.137.328	0	43.938.096	18.793.560	10.415.173	0	29.210.733	7.391.530	39.469.169	106,6%
Total	1.828.432.265	595.339.000	888.321.151	469.839.000	508.273.054	0	1.026.112.854	184.789.244	18.868.138	106,5%

Gambar 15. Tabel Analisis Keuangan

Pada laporan tersebut, setiap tahun terdapat arus kas bersih (laba setelah pajak + penghematan konsumsi sendiri). Di tahun ke-20, keuntungan kumulatif masih

negatif Rp -4.797.079. Sedangkan di tahun ke-21, sudah menjadi positif Rp 1.810.758, sehingga layak untuk dilanjutkan. Berikut perhitungannya menggunakan rumus interpolasi linier:

$$\text{Payback Period} = 20 \left(\frac{\text{Rp } 4.797.079}{\text{Rp } 4.797.079 + \text{Rp } 1.810.758} \right) = 20,8 \text{ Tahun}$$

2). Net Present Value (NPV)

NPV dihitung dengan mengurangi biaya investasi awal sebesar Rp 595.339.000 dari total nilai sekarang (PV) arus kas 25 tahun yang dengan tingkat diskonto 6,25% per tahun adalah Rp 634.207.168. Dengan NPV positif sebesar Rp 38.868.168,38, sistem PLTS ini dinilai menguntungkan dan layak secara finansial.

$$\begin{aligned} \text{NPV} &= \text{Total PV} - \text{Biaya Investasi} \\ &= \text{Rp } 634.207.168 - \text{Rp } 595.339.000 \\ &= \text{Rp } 38.868.168 \end{aligned}$$

3). Internal Rate of Return (IRR)

IRR pada sistem PLTS ini sebesar 7%, dihitung berdasarkan simulasi arus kas selama 25 tahun menggunakan fungsi IRR di Excel. IRR merupakan tingkat diskonto yang membuat NPV bernilai nol, artinya nilai sekarang untuk seluruh arus kas masuk setara dengan biaya investasi awal.

Nilai IRR 7% menunjukkan tingkat pengembalian proyek PLTS. Jika biaya modal dibawah 7%, proyek layak secara finansial. Sebaliknya, jika biaya modal melebihi 7%, maka proyek dinilai tidak menguntungkan.

4). Return on Investment (ROI)

Dalam penelitian ini, ROI dihitung dari NPV seluruh arus kas masuk selama 25 tahun. Dengan demikian, nilai ROI sistem PLTS sebesar 0,065 menunjukkan bahwa investasi awal memperoleh pengembalian sebesar 6,5% setelah memperhitungkan nilai waktu uang selama periode proyek.

$$\begin{aligned} \text{ROI} &= \frac{\text{Biaya Investasi} + \text{NPV}}{\text{Biaya Investasi}} - 1 \\ &= \frac{\text{Rp } 595.339.000 + \text{Rp } 38.868.168}{\text{Rp } 595.339.000} - 1 \\ &= 0,065 \end{aligned}$$

5). Profitability Index (PI)

PI digunakan untuk menilai efisiensi investasi dalam menghasilkan nilai ekonomi. Jika PI diatas 1 proyek layak untuk dijalankan, sedangkan jika PI dibawah 1, proyek dianggap tidak menguntungkan. Pada penelitian sistem PLTS ini, nilai PI sebesar 1,18, artinya setiap Rp 1 yang diinvestasikan menghasilkan manfaat ekonomi sebesar Rp 1,18 dalam nilai sekarang. Ini menunjukkan bahwa sistem PLTS ini layak secara finansial.

$$\begin{aligned} \text{PI} &= \frac{\text{NPV}_{\text{benefits}}}{\text{NPV}_{\text{costs}}} \\ &= \frac{\text{Rp. } 1.053.583.383,60}{\text{Rp. } 882.950.085,60} \\ &= 1,18 \end{aligned}$$

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perencanaan dan analisis teknis maupun ekonomis menggunakan *software* Pylon dan Pvsyst menunjukkan bahwa sistem PLTS atap di Gedung *Workshop* 7 layak untuk diterapkan. Dengan kapasitas sebesar 64 kWp yang terdiri dari 100 panel surya berdaya 640 Wp dan satu inverter 50 kW, sistem ini mampu menghasilkan energi listrik sekitar 80.358 kWh per tahun atau sekitar 220,16 kWh per hari.

Secara teknis, sistem menunjukkan kinerja baik dengan *Performance Ratio* (PR) 76,4% dan *Specific Yield* 1.256 kWh/kWp/tahun. yang menunjukkan efisiensi sistem dalam mengubah energi matahari menjadi listrik. Dari sisi ekonomi, biaya energi sistem PLTS ini lebih murah dibandingkan tarif listrik PLN, yaitu sekitar Rp 878,46/kWh. Secara finansial, proyek dinilai menguntungkan dengan NPV positif sebesar Rp 38.868.163,38, nilai PI 1,18, IRR 7%, dan ROI 6,5%. Meski waktu pengembalian modal (DPP) berlangsung 20,8 tahun, namun angka ini masih lebih pendek dari umur proyek yang direncanakan yaitu 25 tahun.

Oleh karena itu, proyek sistem PLTS ini dinilai layak dijalankan, dengan catatan tetap memperhitungkan kemungkinan risiko dan biaya tak terduga di masa depan.

REFERENSI

- [1] J. Praditya Tampubolon, Agus. Christian Adiatma, "Laporan Status Energi Bersih Indonesia: Potensi, Kapasitas Terpasang dan Rencana Pembangunan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan 2019," *Inst. Essent. Serv. Reform*, pp. 13–15, 2019, [Online]. Available: www.iesr.or.id
- [2] M. Darwin, "Perda No 4 Tahun 2023 tentang RUED Provinsi Kepulauan Riau Tahun 2023 - 2050," *Rencana Umum Energi Drh. Provinsi Kepul. Riau Tahun 2023-2050*, pp. 57–63, 2023, [Online]. Available: <https://den.go.id/publikasi/rued-provinsi>
- [3] A. Nugroho, "UGM Dukung Net Zero Emission Melalui Hemat Energi 20 MWH/bulan dari PLTS," Universitas Gajah Mada. Accessed: Jun. 02, 2024. [Online]. Available: <https://ugm.ac.id/id/berita/23338-ugm-hemat-180-juta-per-tahun-untuk-6-gedung-sistim-plts/>
- [4] FTUI, "FTUI Pasang PLTS Wujudkan Gedung Laboratorium Hijau," Universitas Indonesia. Accessed: Jun. 02, 2024. [Online]. Available: <https://eng.ui.ac.id/ftui-pasang-plts-wujudkan-gedung-laboratorium-hijau/>
- [5] Green Untirta, "Untirta Resmi Gunakan Rooftop Solar Panel Berkapasitas Terbesar di Indonesia," Green Campus Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Accessed: Jun. 03, 2024. [Online]. Available: <https://green.untirta.ac.id/2022/06/07/untirta-resmi-gunakan-rooftop-solar-panel-berkapasitas-terbesar-di-indonesia/>
- [6] M. I. Nugraha and R. Agnevia, "Laporan Kinerja DITJEN EBTKE 2022," Jakarta, 2023. [Online]. Available: <https://ebtke.esdm.go.id/flippdf/elibrary.html#pdfflip-PDFF/1/>
- [7] Suharyati and N. I. Pratiwi, "Outlook Energi Indonesia 2021," Jakarta, 2023. [Online]. Available:

- <https://den.go.id/publikasi/Outlook-Energi-Indonesia>
- [8] J. Smith, K. O'Malia, and S. Prasad, "A Race to the Top : Southeast Asia," 2024. doi: 10.1353/iur.2012.0000.
- [9] N. L. A. Anggasari, I. A. D. Giriantari, and I. W. Sukerayasa, "RUMAH JABATAN GUBERNUR," *SPEKTRUM*, pp. 3–4, 2023.
- [10] H. Harmiansyah, A. Prastyo, and I. F. Rohman, "Perancangan Sistem PLTS on Grid pada Asrama Mahasiswa TB 2 Institut Teknologi Sumatera Menggunakan Software PVSystem," *Mek. Inov. dan Teknol.*, vol. 9, no. October 2023, pp. 184–191, 2023, [Online]. Available: <http://jurnal.utu.ac.id/jmekanova/article/view/8609>
- [11] Karuniawan Eriko Arvin, Sugiono Friska Ayu Fitriani, Larasati Pangestuningtyas Diah, and Pramurti Adeguna Ridlo, "Analisis Potensi Daya Listrik PLTS Atap di Gedung Direktorat Politeknik Negeri Semarang Dengan Perangkat Lunak PVSYSY," *J. Energy Electr. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 75–80, 2023.
- [12] C. P. Chioncel, L. Augustinov, and O. Tirian, "Yield factors of a photovoltaic plant," *Acta Tech. Corviniensis*, vol. 2, no. January, pp. 63–66, 2010.
- [13] V. R. Kossi, "Perencanaan PLTS Terpusat (Off-Grid) Di Dusun Tikalong Kabupaten Mempawah," *J. SI Tek. Elektro UNTAN*, 2018.
- [14] A. Ardiansyah, I. N. Setiawan, and I. W. Sukerayasa, "Perancangan Plts Atap on Grid System Pada Kantor Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Penelitian Dan Pengembangan Kota Probolinggo," *J. SPEKTRUM*, vol. 8, no. 4, p. 200, 2022, doi: 10.24843/spektrum.2021.v08.i04.p23.
- [15] D. Herliyanso and O. A. Rozak, "Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-grid Sebagai Suplai Daya Listrik Perpustakaan Universitas Pamulang," *Electrices*, vol. 5, no. 1, pp. 20–29, 2023, doi: 10.32722/ees.v5i1.5612.
- [16] P. P. Selatan and K. M. Selatan, "Perkembangan Indeks Harga Konsumen Februari 2024," no. 15, pp. 1–16, 2024.