

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 ekonomi 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 ekonomi, 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 Ekonomi

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

© 2025 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 ekonomi. 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 ekonomi dan lingkungan yang bersih. Sejalan dengan komitmen Politeknik Negeri Batam dalam akselerasi transisi energi nasional dan mewujudkan kampus yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

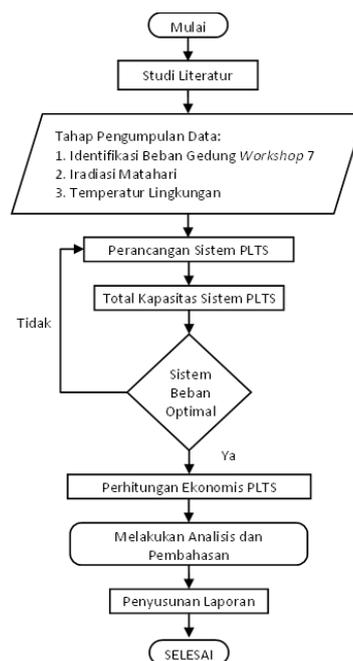
Tujuan penelitian ini berfokus pada analisis perencanaan pembangunan PLTS berdasarkan kelayakan teknis dan ekonomi untuk sistem PLTS atap di Gedung *Workshop 7* Laboratorium Listrik dan Mesin

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 Ekonomi PLTS

Untuk menilai kelayakan investasi sistem PLTS perlu adanya perhitungan yang mencakup indikator keuangan 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 ekonomi dilakukan untuk mendapatkan gambaran performa sistem secara menyeluruh, mencakup analisa teknis dan ekonomi *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 ekonomi.

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

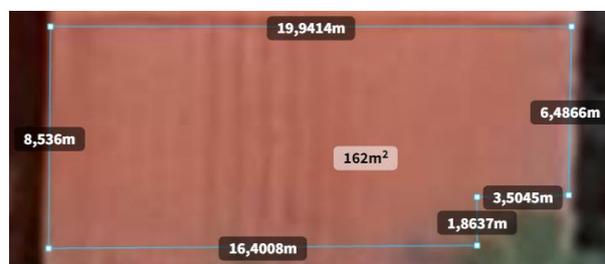
1). Objek Penelitian

Penelitian dilakukan pada Gedung *Workshop 7* Laboratorium Listrik dan Mesin Politeknik Negeri Batam, yang beralamat di Jl. Ahmad Yani, Batam Kota, Kota Batam, Kepulauan Riau, Indonesia, dengan koordinat *Longitude* 104.048°, *Latitude* 1.1185°. Dimana posisi depan gedung menghadap ke arah timur.

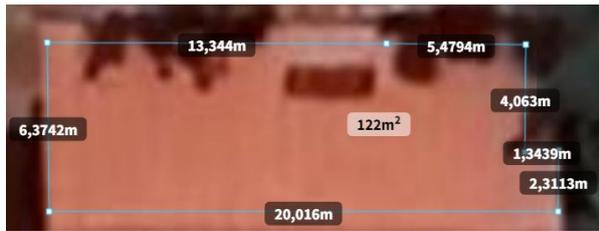


Gambar 2. Titik Lokasi Pembangunan PLTS

Total luas permukaan efektif atap yang dapat di pasang panel surya adalah 284 m², dengan masing masing luasan atap sisi kanan sebesar 162 m² dan sisi kiri 122 m².



Gambar 3. Luasan Efektif Sisi Kanan Atap Gedung *Workshop 7*



Gambar 4. Luasan Efektif Sisi Kiri Atap Gedung *Workshop 7*

2). Kapasitas Sistem PLTS

Kapasitas daya maksimum sistem PLTS yang dirancang adalah 64 kW, maka panel surya yang di gunakan yaitu panel surya Trina Solar Vertex N berkapasitas 640 Wp sebanyak 100 panel.

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

Serta, inverter yang akan digunakan adalah Huawei SUN2000-50KTL dengan daya 50 kW, berdasarkan pertimbangan pada kapasitas daya yang di bangkitkan dan margin keamanan pada nilai rasio DC:AC sebesar 1,25.

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

Sehingga, panel surya pada sisi kanan atap di pasang sebanyak 57 panel surya dan sisi kiri 43 panel, dengan kemiringan (*tilt*) panel di kedua sisi 4.0°, serta sudut horizontal pada sisi kiri -2.0° dan sisi kanan 2.0°.

a) 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) Jumlah panel surya pada sisi kiri atap

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



Gambar 5. Panel Surya pada Atap Gedung *Workshop 7*

3). Konfigurasi *String* pada Sistem PLTS

Selain itu, konfigurasi *string* pada sistem PLTS disesuaikan dengan spesifikasi panel dan inverter. Jumlah panel per *string* ditetapkan antara 5 hingga 22 panel. Jika kurang dari 5 panel tegangan terlalu rendah dan inverter tidak berfungsi optimal. Sebaliknya, jika lebih dari 22 panel, tegangan bisa melebihi batas maksimal terutama saat suhu rendah, yang berisiko merusak inverter dan memperpendek umur sistem.

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

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



Gambar 6. Desain *String* Sistem PLTS

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

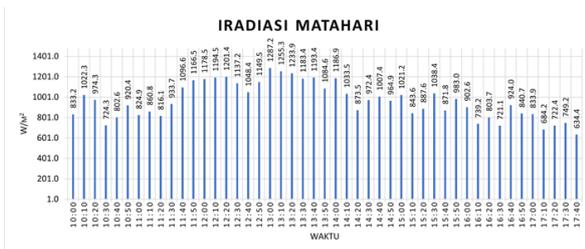
suhu panel. Data *temperature* lingkungan diambil dari bulan Januari 2020 hingga Desember tahun 2020 menggunakan data dari situs PVGIS.

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

Bulan	Temperature (°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 Iradiasi Matahari

Pengambilan data iradiasi matahari dilakukan melalui dua metode. Metode pertama dilakukan dengan pengukuran langsung di Gedung *Workshop 7* menggunakan *Solar Power Meter* pada tanggal 11 Desember 2024, selama 7 jam, dari pukul 10.00 WIB sampai 17.40 WIB dengan interval pencatatan setiap 10 menit.



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

Sedangkan, metode kedua menggunakan data historis dari situs PVGIS, yang mencakup periode Januari 2020 hingga Desember 2020.

Tabel 3. Data Iradiasi Matahari Wilayah Lingkungan Gedung *Workshop 7* Tahun 2020 (PVGIS ©European Union)

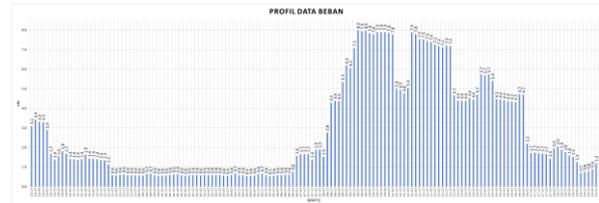
Bulan	Iradiasi Matahari (Wh/m ² /bulan)			
	H(h)	Hb(n)	H(i_opt)	H(90)
Januari	166.29	166.24	168.92	111.18
Februari	170.35	171.22	172.01	84.33
Maret	186.81	177.05	187.05	50.48
April	160.12	141.75	159.08	25.91
Mei	142.72	115.81	140.99	28.41
Juni	119.53	95.36	117.83	25.06
Juli	136.69	115.85	134.79	25.88
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) = Penyerapan 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)

6). 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.

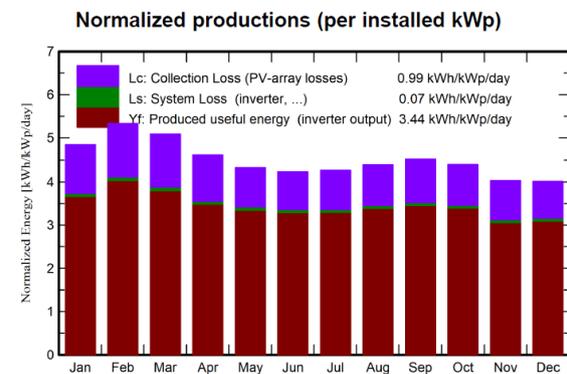


Gambar 8. Hasil Pengukuran Beban Harian Gedung *Workshop 7*

Total penggunaan energi listrik di Gedung *Workshop 7* dalam satu hari sebesar 10.008 kWh/hari atau jika diproyeksikan beban harian selama sebulan adalah tetap maka, total beban perbulan adalah 302.493 kWh/hari.

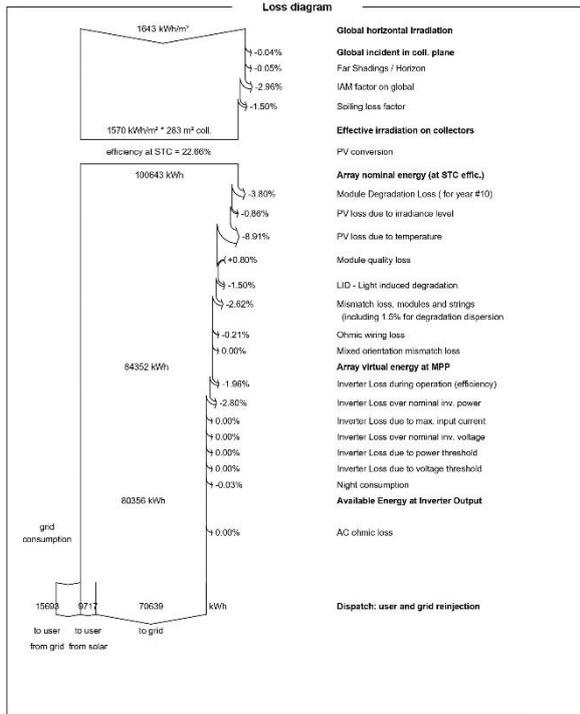
B. Evaluasi Produksi Energi Listrik dari Sistem PLTS

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. Maka dari itu, proyeksi total energi listrik yang dihasilkan dalam satu tahun oleh sistem PLTS 64 kWp sekitar 80,356 kWh.



Gambar 9. Estimasi Energi Listrik yang dihasilkan

Namun, dalam praktiknya, energi listrik yang dihasilkan sistem PLTS akan mengalami beberapa jenis rugi-rugi yang dapat mempengaruhi total *output* energi bersih. Semua kerugian ditampilkan dalam bentuk *loss diagram* berikut:

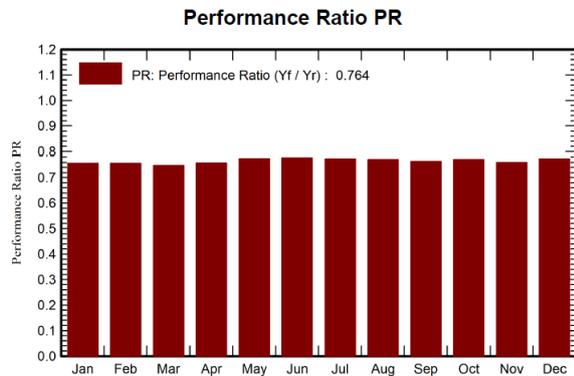


Gambar 10. Grafik Loss Diagram

Setelah memperhitungkan semua kerugian tersebut, sistem PLTS tetap 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 bahwa meskipun terdapat rugi rugi dalam sistem, kinerja PLTS tetap efisien dalam mengubah energi matahari menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan, baik secara internal maupun untuk ekspor ke jaringan.

C. Analisis Kelayakan Teknis

Berdasarkan hasil analisis, sistem PLTS di Gedung *Workshop 7* dinilai layak secara teknis. Hal ini didukung oleh nilai *Performance Ratio* (PR) rata-rata tahunan sebesar 0,764 (76,4%), yang menunjukkan performa sistem yang stabil dan berada di atas ambang batas minimum 70%.



Gambar 11. Performa Rasio Sistem PLTS

Selain itu, nilai *Specific Yield* mencapai 1.256 kWh/kWp/tahun. Artinya, setiap 1 kWp kapasitas sistem PLTS mampu menghasilkan 1.256 kWh listrik per tahun. Dengan nilai di atas 1.000 kWh/kWp/tahun, sistem PLTS ini memenuhi kriteria efisiensi dan kelayakan teknis.

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

D. Analisis Kelayakan Ekonomi

Kelayakan ekonomi sistem PLTS di Gedung *Workshop 7* dianalisis dari berbagai aspek, termasuk biaya investasi dan operasional. Nilai investasi awal sistem PLTS dalam penelitian ini sebesar Rp 595.339.000, yang mencakup pembelian panel surya, inverter, instalasi serta biaya pra-persetujuan jaringan (*network pre-approval*), rincian biaya pada gambar 12.

Item	Quantity	Cost	Total
	units	IDR	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			
Installation	2	6.000.000,00	12.000.000,00
Transport	5	3.000.000,00	15.000.000,00
Grid connection	1	10.000.000,00	10.000.000,00
Other components			
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 12. Biaya Investasi Awal

Selain investasi awal, sistem PLTS juga membutuhkan biaya operasional yang mencakup perawatan rutin, penggantian inverter, perbaikan, serta pemeliharaan panel surya. Selama 25 tahun masa operasional, total biaya O&M tahunan diperkirakan sebesar Rp 22.907.800. Jika dikonversi ke nilai sekarang dengan tingkat diskonto 6,25%, total biaya operasional selama 25 tahun adalah sebesar Rp 286.009.225.

Item	Total
	IDR/year
Maintenance	
Provision for inverter replacement	13.967.800,00
Salaries	4.650.000,00
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 13. Biaya O&M

$$\begin{aligned}
 PV_{\text{operasional}} &= A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \\
 &= \text{Rp } 22.907.880 \left[\frac{(1+0,0625)^{25} - 1}{0,0625(1+0,0625)^{25}} \right] \\
 &= \text{Rp } 22.907.800 \times 12.485 \\
 &= \text{Rp } 286.009.225
 \end{aligned}$$

Dari sisi keekonomian, untuk menghitung nilai biaya rata-rata produksi listrik (LCOE), dibutuhkan dua komponen utama, yaitu *Life Cycle Cost* (LCC) dan *Capital Recovery Factor* (CRF). Nilai LCC selama 25 tahun untuk sistem PLTS yaitu sebesar Rp 881.348.225.

$$\begin{aligned} LCC &= C + PV_{\text{operasional}} \\ &= \text{Rp } 595.339.000 + \text{Rp } 286.009.225 \\ &= \text{Rp } 881.348.225 \end{aligned}$$

Sedangkan CRF yang digunakan sebesar 0,08. Artinya, setiap tahun perlu dialokasikan sebesar 8% dari total investasi agar biaya bisa tertutupi selama umur proyek.

$$\begin{aligned} CRF &= \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \\ &= \frac{0,0625(1+0,0625)^{25}}{(1+0,0625)^{25} - 1} \\ &= \frac{0,0625(1,0625)^{25}}{(1,0625)^{25} - 1} \\ &= \frac{0,0625 \times 4,552}{4,552 - 1} \\ &= \frac{2,845}{3,552} \\ &= 0,08 \end{aligned}$$

Berdasarkan kedua komponen tersebut, diperoleh nilai LCOE sistem PLTS sebesar Rp 878,48 per kWh. Nilai ini lebih rendah dibandingkan tarif listrik PLN untuk golongan tarif P-2/TM pada Juni 2024 yang mencapai Rp 1.415,01/kWh. Artinya, penggunaan sistem PLTS berpotensi memberikan penghematan biaya energi listrik dibandingkan jika seluruh kebutuhan listrik dari PLN. Selisih biaya tersebut menjadi salah satu indikator bahwa secara ekonomi, sistem PLTS tidak hanya layak dari sisi investasi jangka panjang, tetapi juga efisien dalam menekan beban operasional, terutama pada sektor pengguna listrik besar.

Selain itu, untuk menentukan kelayakan ekonomi dapat dianalisis berdasarkan beberapa indikator seperti, *Payback Period*, *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), *Return of Investment* (ROI), dan *Profitability Index* (PI). Salah satu indikator utama adalah *Payback Period* yang dianalisis berdasarkan arus kas selama masa operasional. Hasilnya menunjukkan bahwa pada tahun ke-20, akumulasi keuntungan masih berada pada angka negatif sebesar Rp -4.797.079, namun pada tahun ke-21 sudah menjadi positif Rp 1.810.758. Dengan demikian, periode balik modal untuk sistem PLTS atap Gedung *Workshop 7* adalah 20,8 tahun

Financial analysis										
Detailed economic results (KIDR)										
Year	Electricity sale	Own funds	Ran. costs	Deprec. allow.	Taxable income	Taxes	After-tax income	Self saving	Cumul. profit	% amort.
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	31.425.968	0	31.425.968	7.391.530	511.137.416	81,7%
2	73.137.328	0	22.537.766	18.793.560	30.968.064	0	30.968.064	7.391.530	490.625.966	77,0%
3	73.137.328	0	24.185.053	18.793.560	30.158.715	0	30.158.715	7.391.530	443.649.700	75,5%
4	73.137.328	0	24.850.142	18.793.560	29.453.026	0	29.453.026	7.391.530	399.960.624	67,2%
5	73.137.328	0	25.533.521	18.793.560	28.810.247	0	28.810.247	7.391.530	359.346.119	60,3%
6	73.137.328	0	26.235.683	18.793.560	28.168.075	0	28.168.075	7.391.530	311.608.557	52,2%
7	73.137.328	0	26.967.174	18.793.560	27.386.564	0	27.386.564	7.391.530	266.963.219	44,9%
8	73.137.328	0	27.698.497	18.793.560	26.645.272	0	26.645.272	7.391.530	224.036.615	37,5%
9	73.137.328	0	28.460.205	18.793.560	25.863.563	0	25.863.563	7.391.530	182.362.796	30,4%
10	73.137.328	0	29.242.861	18.793.560	25.100.967	0	25.100.967	7.391.530	141.991.704	23,9%
11	73.137.328	0	30.047.840	18.793.560	24.266.729	0	24.266.729	7.391.530	103.597.706	17,4%
12	73.137.328	0	30.873.333	18.793.560	23.470.435	0	23.470.435	7.391.530	68.206.915	11,5%
13	73.137.328	0	31.722.350	18.793.560	22.621.418	0	22.621.418	7.391.530	35.815.655	6,0%
14	73.137.328	0	32.584.714	18.793.560	21.749.054	0	21.749.054	7.391.530	13.424.152	2,3%
15	73.137.328	0	33.459.069	18.793.560	20.852.559	0	20.852.559	7.391.530	-8.028.357	-1,4%
16	73.137.328	0	34.412.073	18.793.560	19.931.665	0	19.931.665	7.391.530	-25.419.922	-4,3%
17	73.137.328	0	35.384.406	18.793.560	18.985.363	0	18.985.363	7.391.530	-32.811.387	-5,5%
18	73.137.328	0	36.330.762	18.793.560	18.013.007	0	18.013.007	7.391.530	-39.897.700	-6,9%
19	73.137.328	0	37.320.858	18.793.560	17.013.911	0	17.013.911	7.391.530	-46.669.230	-7,9%
20	73.137.328	0	38.356.429	18.793.560	15.987.340	0	15.987.340	7.391.530	-53.281.890	-9,0%
21	73.137.328	0	39.411.230	18.793.560	14.922.538	0	14.922.538	7.391.530	-59.744.352	-10,3%
22	73.137.328	0	40.605.039	18.793.560	13.848.729	0	13.848.729	7.391.530	-66.005.623	-11,7%
23	73.137.328	0	41.968.653	18.793.560	12.755.115	0	12.755.115	7.391.530	-72.057.113	-13,1%
24	73.137.328	0	42.752.891	18.793.560	11.550.877	0	11.550.877	7.391.530	-77.907.236	-14,5%
25	73.137.328	0	43.928.595	18.793.560	10.415.173	0	10.415.173	7.391.530	-83.551.063	-15,9%
Total	1.828.433.205	595.339.000	898.321.451	469.839.880	558.273.054	0	558.273.054	14.181.244	18.628.152	3,2%

Gambar 13. Tabel Arus Kas Keuangan

Berikut rincian perhitungan menggunakan rumus interpolasi linier:

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

Dari sisi kelayakan ekonomi lainnya, nilai NPV dihitung dengan mengurangi biaya investasi awal sebesar Rp 595.339.000 dari total nilai sekarang (*present value*) dengan arus kas selama 25 tahun, dengan menggunakan tingkat diskonto 6,25% per tahun. Hasil perhitungan menunjukkan NPV sistem PLTS adalah Rp 38.868.168,38. Karena NPV bernilai positif, proyek PLTS dianggap menguntungkan dan layak dijalankan secara ekonomi.

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

Sementara itu, nilai IRR pada sistem PLTS adalah 7%, dihitung dari simulasi arus kas selama 25 tahun menggunakan fungsi IRR di Microsoft Excel. IRR adalah tingkat diskonto yang membuat NPV sama dengan nol, atau dengan kata lain, nilai sekarang dari seluruh arus kas masuk sama dengan biaya investasi awal. Dengan IRR sebesar 7%, proyek ini memberikan tingkat pengembalian sebesar 7% per tahun. Jika biaya modal lebih rendah dari angka tersebut, maka proyek dianggap layak secara ekonomi. Sebaliknya, jika lebih tinggi, proyek dinilai tidak menguntungkan.

Selain IRR, analisis juga dilakukan terhadap 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 memberikan pengembalian sebesar 6,5% setelah memperhitungkan nilai waktu uang selama periode proyek.

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

Kemudian, kelayakan ekonomi juga dianalisis menggunakan PI untuk menilai efisiensi investasi dalam menghasilkan nilai ekonomi. Jika PI bernilai lebih dari 1 proyek layak untuk dijalankan, sedangkan jika nilai 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. Hasil ini memperkuat bahwa sistem PLTS layak secara ekonomi dan dapat memberikan keuntungan jangka panjang bagi pengguna atau investor.

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

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perencanaan dan analisis teknis maupun ekonomi pada simulasi sistem PLTS menggunakan *software* Pylon dan Pvsyst menunjukkan 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 rendah dibandingkan tarif listrik PLN, yaitu sekitar Rp 878,46/kWh. Proyek sistem PLTS ini juga dinilai menguntungkan berdasarkan beberapa indikator, seperti NPV positif sebesar Rp 38.868.163,38, nilai PI 1,18, IRR 7%, dan ROI 6,5%. Meski waktu pengembalian modal (*payback period*) mencapai 20,8 tahun, angka ini masih lebih pendek dibandingkan umur proyek yang direncanakan, yaitu selama 25 tahun.

Oleh karena itu, proyek sistem PLTS ini dinilai layak dijalankan secara teknis dan ekonomi, 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 PVSyst," *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 PVSYST," *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.