

Perencanaan Pemasangan PLTS *Rooftop Off-Grid* pada Bandar Udara Kelas III Ilaga

M. Nafkar Jaya^{1*}, Sukrianto Hakim², Syamsir³, Syarifuddin Nojeng⁴, Andi Syarifuddin⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia

Email: ¹03320200067@umi.ac.id; ²03320230038@umi.ac.id; ³syamsir@umi.ac.id; ⁴syarifuddin.nojeng@umi.ac.id;

⁵asyarif@umi.ac.id

Received: 02 07 2025 | Revised: 20 07 2025 | Accepted: 29 07 2025 | Published: 30 09 2025

Abstrak

Bandar Udara Ilaga merupakan bandar udara yang terletak di Desa Aminggaru Kabupaten Puncak Provinsi Papua Tengah yang melayani moda transportasi udara dengan rute penerbangan Timika–Ilaga (PP), Nabire–Ilaga (PP), Wamena–Ilaga (PP), Jayapura–Ilaga (PP). Sebagian besar wilayah di daerah ini belum terjangkau jaringan listrik PLN termasuk Bandar Udara Ilaga. PLTS sistem *off-grid* dapat menjadi pilihan untuk dikaji menjadi energi alternatif yang nantinya dapat dimanfaatkan untuk menyuplai kebutuhan listrik Bandar Udara Ilaga. Dalam perhitungan perkiraan beban, total kebutuhan energi listrik di Bandar Udara Ilaga sekitar 17.390Wh/Hari. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan dibutuhkan sebanyak 27 panel surya kapasitas 200Wp, 3 unit inverter Growatt berkapasitas 2kW, dan 16 unit baterai berkapasitas 12V 200Ah. Hasil perhitungan *Performance Ratio* yaitu sebesar 85% yang menunjukkan bahwa perencanaan pembangunan PLTS *off-grid* layak untuk dilaksanakan. Biaya investasi awal yang dikeluarkan untuk membangun PLTS *off-grid* sebesar Rp 277.975.000 dan biaya perawatan Rp 2.779.500/tahun. Sedangkan untuk biaya pembelian bahan bakar solar untuk menunjang operasional bandar udara selama setahun yaitu Rp 74.880.000/tahun. Hasil analisis kelayakan investasi menunjukkan nilai *Net Present Value* (NPV) pada PLTS positif sebesar Rp 210.794.285 dan untuk *Discounted Payback Period* (DPP) terjadi pada tahun ke-4 umur PLTS.

Kata kunci: bandar udara, plts *off-grid*, kelayakan investasi

1. Pendahuluan

Energi listrik menjadi kebutuhan dasar bagi manusia dalam menjalankan kegiatan sehari-hari. Konsumsinya tiap tahun kebutuhan akan energi listrik terus mengalami peningkatan seiring dengan kemajuan zaman dan pertumbuhan jumlah penduduk. Meskipun demikian, hingga kini pasokan listrik masih sangat bergantung pada Perusahaan Listrik Negara (PLN), yang salah satu sumber energinya berasal dari batu bara. Peningkatan konsumsi listrik menyebabkan cadangan batu bara semakin menipis dan harganya kian melambung. Oleh karena itu, diperlukan sumber energi alternatif untuk mendukung penyediaan listrik yang berkelanjutan. Salah satu energi alternatif yang dapat digunakan ialah energi surya. Cahaya matahari sangat mudah diperoleh, ramah lingkungan, sumber energi yang besar dan bersifat tak terbatas. Indonesia ialah negara yang mempunyai dua musim yaitu musim kemarau dan musim hujan sehingga pemanfaatan energi surya sebagai energi listrik merupakan cara yang tepat. Energi panas matahari dapat dikonversi dengan beberapa cara, salah satunya menggunakan *solar cell* (sel surya atau matahari) dengan bantuan teknologi *Photovoltaic*. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) jenis sel surya digunakan dengan konsep yang sangat sederhana yaitu mengkonversi energi panas matahari menjadi energi listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang dalam penggunaannya sangat ramah lingkungan dan tidak menimbulkan polusi namun dapat menjadi solusi alternatif sumber energi listrik yang dapat dikembangkan di masyarakat[1].

Penelitian dilakukan di gedung Watch Room Bandar Udara Kelas III Ilaga, Desa Aminggaru, Distrik Omikiya, Kabupaten Puncak, Papua Tengah, Indonesia, yang merupakan salah satu gedung tertinggi di dalam wilayah Bandar Udara Kelas III Ilaga. Bandara tersebut berada di ketinggian 2.316,48 MDPL (7.599,91 ft dpl) dan memiliki suhu

yang sangat dingin dengan rata-rata 12°C. Bandara dikelola oleh Direktorat Jenderal Perhubungan Udara dan setiap harinya melayani rata-rata 50 penerbangan dari pukul 06:00 hingga pukul 12:30 WIT, memiliki panjang *runway* 600m×23m yang melayani rute penerbangan Timika–Ilaga (PP), Nabire–Ilaga (PP), Wamena–Ilaga (PP), dan Jayapura–Ilaga (PP). Jenis pesawat paling besar yang dilayani Bandar Udara Kelas III Ilaga adalah Twin Other.

Dalam melaksanakan tugas Kantor Unit Penyelenggara Bandar Udara Kelas III Ilaga, khususnya untuk melayani kebutuhan masyarakat terutama di daerah yang digolongkan dalam wilayah 3T (Tertinggal, Terdepan, Terluar), bandar udara membutuhkan suplai listrik karena memiliki fasilitas keselamatan penerbangan yaitu *Runway Threshold Identification Light* (RTIL) dan *Abbreviated Precision Approach Path Indicator* (APAPI) serta beberapa peralatan listrik komunikasi penerbangan, namun sumber listrik yang tersedia hanya bisa diperoleh dari genset 150kVA yang ada di Bandar Udara Kelas III Ilaga, sementara harga bahan bakar minyak jenis solar di Ilaga sangat tinggi dibandingkan dengan harga normal.

Dari permasalahan tersebut, solusi yang dapat diupayakan ialah mendorong pembangunan PLTS *rooftop* (atap) yang biasa disebut dengan sistem *Rooftop Photovoltaic*. Sistem ini menggunakan atap bangunan untuk menempatkan PLTS yang dapat terhubung jaringan PLN (*grid-connected*) dan tidak tersambung dengan jaringan PLN (*off-grid*). PLTS *Rooftop* dapat diaplikasikan pada atap bangunan komersial, industri, perumahan maupun pemerintahan. Dalam pengembangan dan pemanfaatan PLTS *Rooftop*, penulis melihat adanya potensi serta peluang pada Gedung Watch Room Bandar Udara Kelas III Ilaga untuk dimanfaatkan atap gedungnya. Sehingga pada penelitian ini penulis membahas tentang “Studi Perencanaan Pemasangan PLTS *Rooftop Off-Grid* pada Bandar Udara Kelas III Ilaga”.

2. Metode

2.1 Gambaran umum Gedung Watch Room

Pemilihan Gedung Watch Room sebagai penempatan panel surya dilatarbelakangi oleh lokasi yang strategis dan pertimbangan kondisi serta efektifitas yang memungkinkan untuk perencanaan pemasangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Adapun sistem yang digunakan pada penelitian ini yaitu sistem PLTS *Off-Grid* dikarenakan lokasi PLTS yang direncanakan belum memiliki suplai listrik dari PLN sehingga sistem *off-grid* merupakan konfigurasi yang paling tepat. Penelitian dilakukan selama kurang lebih 2 bulan untuk memperoleh data dan keterangan dari Lokasi, dengan alat dan bahan yang digunakan yaitu komputer atau laptop, pengukur jarak, kamera, *flashdisk*, dan ATK.

Parameter yang menjadi dasar masalah dalam penelitian ini yaitu pentingnya catu daya listrik untuk mendukung operasional bandar udara Kelas III Ilaga yang memenuhi aspek teknis dan aspek ekonomi, serta pemanfaatan energi surya sebagai sumber catu daya utama dipandang dari letak geografis Bandar Udara Kelas III Ilaga. Tahapan perencanaan PLTS *Rooftop Off-Grid* pada Gedung Watch Room meliputi tahap penyiapan data perencanaan, perhitungan perencanaan, perhitungan analisis teknis, dan perhitungan analisis ekonomi. Data perencanaan terdiri dari data luas atap pada Gedung Watch Room sebesar 240m², besar daya peralatan dan lama penggunaan pada masing-masing peralatan. Pada perhitungan perencanaan, persamaan yang digunakan bertujuan untuk menghitung luas atap Gedung Watch Room, menghitung luas atap yang akan dipasang panel surya, dan menghitung daya terpakai pada Gedung Watch Room,

selengkapnya ditunjukkan pada persamaan (1). Perhitungan analisis teknis bertujuan untuk mengestimasi daya yang dihasilkan PLTS (Watt Peak), menghitung jumlah panel surya yang akan digunakan, menentukan rangkaian PLTS *Off-Grid*, menentukan kapasitas inverter, menentukan jumlah dan kapasitas baterai, dan menentukan besar daya keluaran PLTS dengan *losses*. Persamaan untuk perhitungan daya yang dibangkitkan PLTS, estimasi jumlah panel surya, dan penentuan besar daya keluaran PLTS dengan *losses* masing-masing ditunjukkan pada persamaan (2), (3), dan (4). Perhitungan analisis ekonomi menggunakan pendekatan *Net Present Value* (NPV) dan *Payback Period* (PP). NPV menilai selisih antara pemasukan dan pengeluaran suatu investasi untuk menentukan nilai ekonomisnya, sedangkan PP menunjukkan lama waktu yang dibutuhkan untuk memulihkan dana awal yang telah dikeluarkan. Kedua pendekatan ini sering digunakan dalam analisis proyek untuk mengukur profitabilitas dan risiko investasi, perhitungannya masing-masing menggunakan persamaan (5) dan (6).

$$\text{Daya total} = \text{jumlah beban} \times \text{daya beban (Watt)} \times \text{lama pemakaian (jam)} \quad (1)$$

$$P \text{ Watt peak} = \text{area array} \times \text{PSI} \times \eta_{\text{PV}} \quad (2)$$

$$\text{Jumlah panel surya} = \frac{P_{\text{wattpeak}}}{P_{\text{MPP}}} \quad (3)$$

$$P_i = \text{Besar daya yang digunakan} \times \text{losses} \quad (4)$$

$$\text{NPV} = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{B_t}{(1+i)^n} - \sum_{t=0}^{t=n} \frac{C_t}{(1+i)^n} \quad (5)$$

$$\text{PP} = \frac{\text{Investasi}}{\text{Kas Bersih/Tahun}} \times 1 \text{ tahun} \quad (6)$$

2.2 Kerangka Pemikiran

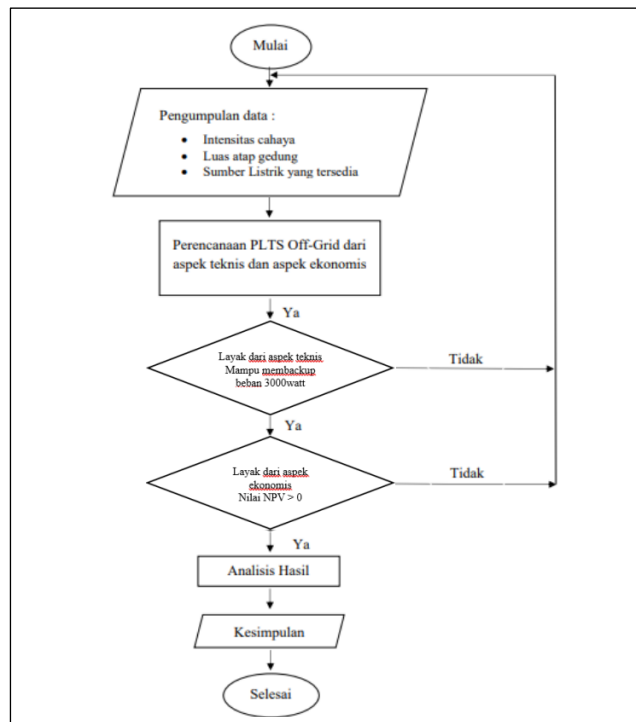
Pembangkitan listrik dengan energi surya dapat dilakukan secara langsung menggunakan fotovoltaik, atau secara tidak langsung dengan pemusatan energi surya. Pembangkit listrik tenaga surya merupakan salah satu energi baru terbarukan yang ramah lingkungan dan dapat memperbaharui energi itu sendiri dalam waktu yang singkat. Berbeda dengan energi fosil yang membutuhkan waktu lama untuk memproduksi kembali energi tersebut. Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dapat menjadi solusi penyediaan listrik di wilayah pedesaan yang belum terjangkau jaringan PLN, maupun di daerah yang kesulitan menggunakan generator akibat terbatasnya ketersediaan dan distribusi bahan bakar minyak. Kendala utama dalam penerapan energi surya yaitu biaya investasi yang cukup besar sehingga perlu diperhatikan dari sisi ekonomi.

Penelitian tentang PLTS sebelumnya dilakukan oleh Hakim Muhammad (2017), Jaka Windarta (2021), Panji Wijasa G (2021), dan Delby Yansel N (2024) dengan menerapkan PLTS di wilayah pedesaan dan wilayah yang sulit terjangkau oleh jaringan listrik PLN, dan terbukti sangat mendukung penyediaan suplai listrik. Dengan demikian, dalam penelitian ini, peneliti akan menggunakan PLTS sebagai pembanding untuk pemakaian generator dari aspek teknis dan aspek ekonomi.

2.3 Metode Analisis

Penelitian menerapkan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis data komparatif, dimana merupakan metode statistik yang digunakan untuk mengevaluasi

perbedaan atau hubungan antara dua atau lebih kelompok atau variabel. Tujuan utamanya adalah untuk mengevaluasi apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara variabel-variabel tersebut dan memahami sifat perbedaannya. Dengan metode ini akan diamati kondisi sumber energi listrik di wilayah Bandar Udara Kelas III Ilaga. Diagram alur penelitian selengkapanya ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Setelah melakukan observasi dan pengambilan data di Gedung Watch Room UPBU Kelas III Ilaga, diperoleh data beban sebagai berikut:

Tabel 1. Beban yang terpasang pada Gedung Watch Room

No	Beban	Daya (W)	Jumlah	Total Daya (W)	Jam Operasional		Diluar Jam Operasional	
					Konsumsi Energi (Wh)	Lama Penggunaan (H)	Konsumsi Energi (Wh)	Lama Penggunaan (H)
1	Lampu Koridor	10	3	30	240	8	480	16
2	Lamput Koridor	10	1	10	80	8	160	16
3	Lampu WC Umum	10	1	10	80	8	160	16
4	Lampu Gudang	15	2	30	150	5	0	0
5	Lampu Ruang Arsip	15	2	30	240	8	0	16
6	Lampu Watch Room	15	4	60	480	8	0	0
7	Peralatan Radio AFIS	400	1	400	3.200	8	0	0
8	Mesin Air	400	1	400	1.600	4	0	0
9	Lampu RTIL	150	2	300	1.200	4	0	0
10	Lampu APAPI	150	2	300	1.200	4	0	0
11	Sirine	230	1	230	920	4	0	0

12	Pemanas Ruangan	650	2	1.200	6.000	5	1.200	10
TOTAL				3.000	15.390		2.000	

Dari data beban yang ada di Gedung Watch Room dapat diketahui total data beban pada saat jam operasional dan di luar jam operasional pada Tabel 1.

1. Total daya beban penuh saat operasional bandara = 15.290Wh per hari.

total daya beban bulan = kWh beban jam operasional $\times$ 26 hari

total daya beban bulan = 15.290×26

total daya beban bulan = 400,14kWh/bulan

2. Total daya beban pada saat di luar operasional bandara = 2.000

total daya beban sebulan = kWh beban jam operasional $\times$ 26 hari

total daya beban sebulan = 2.000×26 hari

total daya beban sebulan = 60kWh/bulan

Dengan demikian, total beban dalam setahun yaitu:

= (beban bulanan di jam operasional $\times$ 12 bulan) + (beban di luar jam operasional $\times$ 12 bulan)

= 4.800kWh + 720kWh = **5.520kWh/tahun**

Pengambilan data irradian di Bandar Udara Kelas III Ilaga -4.04/ longitude 137,67 data irradian diperoleh dari data pada *website* NASA[2], serta situs <https://globalsolaratlas/> seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Radiasi Matahari

Latitude -4.04/ Longitude 137.67		
Bulan	Radiasi Matahari (kWh)/m ²	Temperatur
Januari	4.77	13.2
Februari	4.90	13
Maret	4.94	13.2
April	4.95	13.3
Mei	4.11	13.5
Juni	4.21	12.9
Juli	3.52	12.9
Agustus	4.07	12.8
September	4.83	13.1
Oktober	4.91	13.1
November	4.95	13.3
Desember	4.66	13.3
Rata-rata	4.57	13.14

Sumber: <https://power.larc.nasa.gov>, 2022

Kapasitas inverter ditentukan oleh keluaran maksimum dalam Watt (W) atau kiloWatt (kW). Untuk menentukan kapasitas inverter yang tepat, dapat mempertimbangkan aspek beban listrik yang akan dihubungkan ke inverter, lonjakan daya awal, efisiensi inverter, dan faktor lingkungan. Dari hasil perhitungan beban maksimal perjamnya mencapai 3.000Wh untuk menjaga efisiensi dan *life time* inverter maka setiap inverternya hanya akan dibebani 50%.

$$\text{Kapasitas inverter} = \frac{\text{beban maksimal} \times 2}{\text{kapasitas per inverter}}$$

$$\text{Kapasitas inverter} = \frac{3.000\text{Wh} \times 2}{2\text{kVA}}$$

Kapasitas inverter = 3 inverter

Tabel 3. Spesifikasi *smart inverter off-grid* 2 kW

INPUT	
Max. DC Input Power (W)	2800W
Max. DC Input Voltage (V)	500V
Start-up Voltage (V)	102V
Max. Input Current (A)	40A

Max. Short Current (A)	80A
OUTPUT	
Nominal Output Power (W)	1800W
Nominal Output Voltage (V)	230V
Nominal Output Frequency (Hz)	50/60
Max. Output Current (A)	9,5
Efficiency	98,6%
European Efficiency	>98,1%

Sumber: *Datasheet Growatt*, 2024

Kapasitas baterai PLTS dapat dihitung dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti jumlah panel surya, daya keluaran panel surya, dan konsumsi listrik pada lokasi yang akan dipasang. Perhitungannya sebagai berikut.

Ukuran baterai(dalam kWh)

= rata

– rata pemakaian daya harian $\times 1,25$ (untuk 30% DoD

Ukuran baterai(dalam kWh) = 24kWh $\times 1,25$

Ukuran baterai(dalam kWh) = 30.000Watt

Kapasitas 1 sel baterai $4 \times 12V \times 200Ah = 9.600Watt$

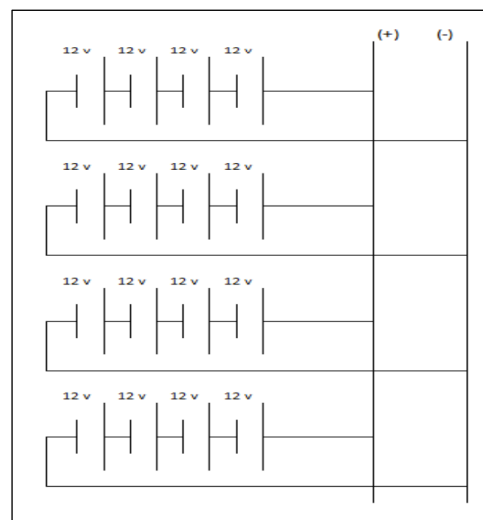
Jumlah sel baterai yang dibutuhkan = $\frac{30.000}{9600}$

Jumlah sel baterai yang dibutuhkan = 3,12 sel ~ 4 sel baterai

Jumlah baterai yang dibutuhkan = 4 baterai $\times 4$ sel

Jumlah baterai yang dibutuhkan = 16 baterai

Konfigurasi baterai secara paralel dan seri ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian seri paralel baterai

Nilai radiasi matahari akan menggunakan nilai terendah yakni 4,66 kWh/m². Suhu standar yang diperlukan oleh panel surya sendiri adalah 25°C, sedangkan suhu tertinggi tercatat sebesar 13,5°C.

Tabel 4. Data panel surya

Elektrical Data (STC)	
Rated Power in Watts- P_{max} (Wp)	200W
Open Circuit Voltage – Voc (V)	21,8V
Short Circuit Current – Isc (A)	11,62A
Max Power Voltage = Vmp (V)	18,24V

Max Power Current – Imp (A)	10,96A
Mechanical Data	
Solat Cells	Mono-crystalline
Operating Temperature	-40°C to +85°C
Module Dimensions	1290×760×30mm
Weight	12kg
Superstrate	3,2mm tempered glass
Substrate	White Backsheet
Frame material	Aluminium
J-Box	IP68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4,0mm ²
Connector	EU Countries: Technology Cable 4,0mm ²
Efisiensi	20-21%

Sumber: data sheet ST Solar, 2024

Untuk menentukan jumlah panel yang akan digunakan dengan nilai Watt Peak (Wp), dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\text{jumlah panel surya} = \frac{P_{\text{Wattpeak}}}{P_{\text{MPP}}} = \frac{6000\text{Watt}}{200\text{Wp}} = \mathbf{30 \text{ panel surya}}$$

Penentuan rangkaian modul panel baik seri maupun paralel sebagai berikut.

$$\text{jumlah paralel} = \frac{I_{\text{max SCC}}}{I_{\text{max PV}}} = \frac{50\text{A}}{10,96\text{Volt}} = 4,56 \text{ panel}$$

$$\text{jumlah seri} = \frac{V_{\text{max SCC}}}{V_o \text{ PV}} = \frac{102\text{Volt}}{21,8\text{Volt}} = 4,6 \text{ panel}$$

Untuk mendapatkan daya maksimal dari panel surya dan area atap yang dapat dipasang panel surya maka dibuat konfigurasi panel dalam susunan paralel dan seri masing-masing sebanyak 3 panel, sehingga modul yang digunakan sebanyak 9 panel. Perhitungan daya total yaitu sebagai berikut.

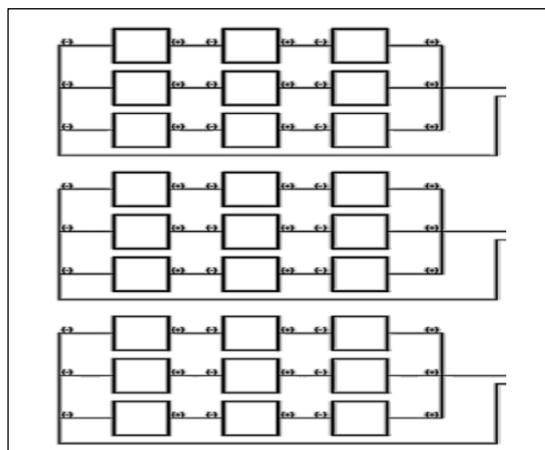
$$V_m \text{ seri} = V_m \times \text{jumlah modul seri} = 18,24 \times 3 = 54,72\text{Volt}$$

$$I_m \text{ paralel} = I_m \times \text{jumlah rangkaian paralel} = 10,96 \times 3 = 32,88\text{A}$$

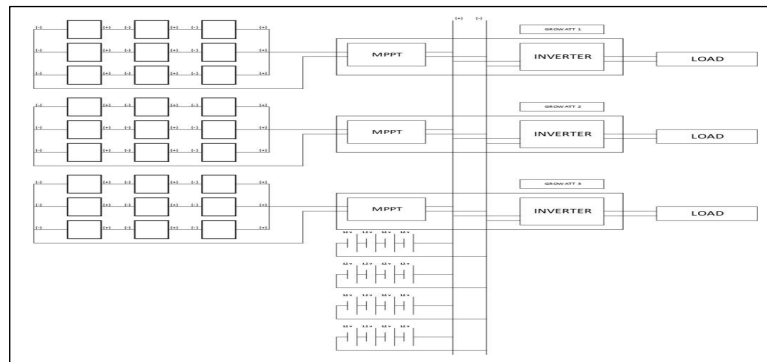
Sehingga, daya total yang dihasilkan per rangkaian modul surya yaitu:

$$\mathbf{Daya \text{ total} = V_m \text{ seri} \times I_m \text{ paralel} = 54,72 \times 32,88 = 1.799,1 \text{ Wp}}$$

Untuk menyeimbangkan konfigurasi PV akan digunakan panel sebanyak 27 panel.



Gambar 3. Rangkaian seri paralel panel surya



Gambar 4. Single Line PLTS Rooftop

Asumsi *losses* sistem PLTS diasumsikan sebesar 15% karena semua komponen yang digunakan masih dalam kondisi baru. Oleh karena itu, energi yang dihasilkan oleh panel surya dikurangi dengan besarnya *losses* tersebut melalui perhitungan berikut [3].

$$27 \text{ panel surya} \times 200\text{Watt} = 5.400\text{W} \approx 5,4\text{kW}$$

Dengan *losses* 15% maka untuk perhitungan keluaran dari PLTS menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$P_i = \text{besar daya yang digunakan} \times (100\% - 15\%)$$

$$P_i = 5.400\text{Watt} \times 85\% = 4.590\text{Watt} \approx 4,5\text{kW}$$

Berdasarkan kapasitas panel terpasang diperoleh hasil pengurangan susut panel surya sebesar 4,59kW. Berikut ini akan dianalisis energi yang dihasilkan modul surya relatif terhadap data radiasi matahari rata-rata sebesar 4,57 (terendah 3,53 dan tertinggi 4,59). Jika data yang digunakan adalah radiasi matahari terendah, maka dihitung dengan persamaan berikut.

$$P_{\text{out}} = P_i \times \text{Radiasi matahari minimum}$$

$$P_{\text{out}} = 4,59\text{kW} \times 3,52\text{kWh/m}^2 P_{\text{out}} = 16,156\text{kWh}$$

Sehingga diperoleh energi yang dihasilkan saat radiasi matahari terendah yakni sebesar 16,156kWh. Sedangkan jika menggunakan data radiasi matahari tertinggi, perhitungannya sebagai berikut.

$$P_{\text{out}} = P_i \times \text{Radiasi matahari maksimum}$$

$$P_{\text{out}} = 4,59\text{kW} \times \frac{4,95\text{Wh}}{\text{m}^2} = P_{\text{out}} = 22,720\text{kWh}$$

Jadi energi yang dihasilkan pada radiasi matahari tertinggi adalah sebesar 22,720kWh. Perhitungan rata-rata energi yang dihasilkan setiap tahun, digunakan nilai radiasi rata-rata atau *Peak Sun Hour* (PSH) sebagai berikut.

$$P_{\text{out}} = P_i \times \text{PSH}$$

$$P_{\text{out}} = 4,59\text{kW} \times 4,57\text{kWh/m}^2 = 20,976\text{kWh}$$

$$\text{Energy yield} = \text{energi output} \times 365\text{hari} = 20,976\text{kWh} \times 365\text{hari} = 7.656,3\text{kWh/tahun}$$

Performance Ratio (PR) merupakan indikator yang digunakan untuk menilai kualitas kinerja sistem berdasarkan jumlah energi yang dihasilkan dalam satu tahun. Sistem dengan nilai PR berkisar 70-90% masuk dalam kategori layak[4]. Perhitungannya sebagai berikut.

$$PR = \frac{E_{\text{yield}}}{E_{\text{ideal}}}$$

$$E_{\text{ideal}} = \frac{P_{\text{array}} \times \text{jumlah modul} \times H_{\text{tilt}}}{E_{\text{ideal}}}$$

$$H_{\text{tilt}} = \text{PSH} \times 365 = 4,57\text{kWh/m}^2 \times 365\text{hari} = 1.668\text{kWh/m}^2$$

$$\text{Energi ideal} = \text{daya spesifikasi modul surya} \times H_{\text{tilt}}$$

$$\text{Energi ideal} = 200\text{Wp} \times 27 \text{ modul} \times 1.668\text{Wh/m}^2$$

$$\text{Energi ideal} = 9.007,2\text{Wh/tahun}$$

Sehingga diperoleh perhitungan PR sebagai berikut.

$$PR = \frac{E_{yield}}{E_{ideal}} = \frac{7.656,3kWh/tahun}{9.007kWh/tahun} = 0.85 = 85\%$$

Sistem yang dirancang mempertimbangkan kelayakan ekonomi dan dipilih berdasarkan perhitungan NPV. Biaya total investasi, biaya penghematan operasional genset, *discount rate*, dan nilai inflasi akan memengaruhi hasil simulasi. Sebelum menentukan total biaya investasi, dilakukan survei melalui toko *offline* di area Kota Semarang, maupun toko *online* di berbagai *e-commerce* di Indonesia. Hal yang berpengaruh lainnya adalah nilai *discount rate* dan nilai inflasi yang peneliti dapatkan melalui laman resmi Bank Indonesia[5].

Biaya investasi untuk masing-masing komponen pada perancangan sistem PLTS dapat dilihat pada tabel 5 sebagai berikut.

Tabel 5. Rincian Investasi Awal

No	Komponen	Jumlah	Harga	Total harga
1	Panel Surya Monocrystalline 200WP	27 buah	Rp 1.661.000	Rp 44.847.000
2	Inverter 2kW	3 buah	Rp 12.740.000	Rp 38.220.000
3	Baterai 12V 200Ah	16 buah	Rp. 2.100.000	Rp 33.600.000
4	Box panel distribusi (80×60×20 cm)	1 buah	Rp 1.250.000	Rp 1.250.000
5	Mounting Bracket PV	60 m ²	Rp 500.000	Rp 30.000.000
6	NYAF 16m ²	300 meter	Rp 49.500	Rp 14.850.000
7	NYHY 4×16mm	30 meter	Rp 95.000	Rp 2.850.000
8	BC 16mm	40 meter	Rp 69.250	Rp 2.770.000
9	Grounding Rod 5/8	1 batang	Rp 900.000	Rp 900.000
10	Skun kabel	18 buah	Rp 20.000	Rp 360.000
11	Ducting kabel	10 batang	Rp 12.000	Rp 120.000
12	Connector MC4 (male and female)	27 pair	Rp 19.000	Rp 518.000
13	MCB DC 100A	3 buah	Rp 150.000	Rp 450.000
14	Biaya instalasi dan settingan PLTS	1 set	Rp 15.518.000	Rp 15.000.000
15	Biaya tak terduga	1 set	Rp 5.000.000	Rp 5.000.000
16	Biaya mobilisasi alat dan bahan	1 set	Rp 21.815.000	Rp 87.260.000
		Total		Rp 277.975.000

Biaya pemeliharaan dan operasional tahunan untuk PLTS diperkirakan sebesar 1% hingga 2% dari total investasi awal [6]. Persentase ini mencakup pengeluaran untuk kegiatan seperti pembersihan panel surya, perawatan, serta inspeksi berbagai komponen sistem. Dalam penelitian ini, biaya pemeliharaan dan operasional (M) ditetapkan sebesar 1% dari total investasi awal. Penetapan ini mempertimbangkan kondisi iklim Indonesia yang hanya memiliki dua musim, yakni musim hujan dan kemarau, yang dapat menyebabkan frekuensi pemeliharaan menjadi lebih tinggi. Adapun besarnya biaya tersebut per tahun adalah sebesar:

$$M = 1\% \times \text{total biaya investasi}$$

$$M = 0.01 \times \text{Rp. 277.975.000} = \text{Rp. 2.779.500/tahun}$$

Kelayakan investasi PLTS dievaluasi melalui perhitungan Net Present Value (NPV), Profitability Index (PI), dan Discounted Payback Period (DPP). Dalam analisis ini, biaya energi diasumsikan setara dengan konsumsi harian solar di Bandara Ilaga sebanyak 6 liter per hari operasional, dengan harga bahan bakar sebesar Rp 40.000 per liter. Estimasi biaya tahunan dihitung berdasarkan asumsi tersebut dengan perincian sebagai berikut::

$$6 \times \text{Rp. } 40.000 \times 310 \text{ hari} = \text{Rp } 74.400.000$$

Maka arus kas masuk tahunannya adalah sebesar Rp 74.400.000, sedangkan pengeluaran tahunannya diperhitungkan sebesar Rp 2.779.500 yang ditentukan berdasarkan biaya pemeliharaan dan operasional tahunan PLTS. Tabel 7 menunjukkan hasil perhitungan arus kas bersih dengan faktor diskont (i) sebesar 7% dan nilai sekarang arus kas bersih. Faktor diskont (DF) dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

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

Misalnya perhitungan faktor diskonto dengan n adalah tahun ke-1 adalah:

$$DF = \frac{1}{(1 + 0,07)^1}$$

$$DF = 0,935$$

Payback period ditentukan berdasarkan jumlah pemakaian solar pertahunnya dengan *cost* pemasangan PLTS *Off-Grid* di Bandar Udara Ilaga. Diketahui PLTS *Off-Grid* ini mampu membangkitkan tenaga listrik 24 jam dengan baterai sebagai penyimpanan dayanya.

a. Jumlah pemakaian daya

- 1) Jumlah pemakaian daya per hari operasional selama 1 bulan
 $= 15,39 \text{ kWh} \times 26 \text{ hari} = 400 \text{ kWh}$
- 2) Jumlah pemakaian daya diluar hari operasional selama 1 bulan
 $= 2 \text{ kWh} \times 30 \text{ hari} = 60 \text{ kWh}$
- 3) Jumlah pemakaian daya per tahun
 $= 460 \text{ kWh} \times 12 \text{ hari} = 5.520 \text{ kWh}$

b. Biaya tagihan

- 1) Biaya pemakaian solar per hari jam operasional
 $= 6 \text{ Liter} \times \text{Rp. } 40.000 = \text{Rp. } 240.000$
- 2) Biaya tagihan listrik per bulan
 $= \text{Rp. } 240.000 \times 26 \text{ hari} = \text{Rp. } 6.240.000$
- 3) Biaya tagihan listrik per tahun
 $= \text{Rp. } 6.240.000 \times 12 \text{ bulan} = \text{Rp. } 78.880.000$

c. Daya PLTS yang dibangkitkan

- 1) Daya PLTS per hari $= 24 \text{ kWh}$
- 2) Daya PLTS per bulan $= 24 \text{ kWh} \times 30 \text{ hari} = 720 \text{ kWh}$
- 3) Daya PLTS per tahun $= 224 \text{ kWh} \times 365 \text{ hari} = 8.760 \text{ kWh}$

d. *Payback Period*

- 1) Energi penghematan pertahun
 $= \text{Daya PLTS yang dihasilkan} - \text{pemakaian daya}$
 $= 8.760 \text{ kWh} - 5.520 \text{ kWh} = 3.240 \text{ kWh}$
- 2) Penghematan biaya/tahun
 $= \text{Rp. } 6.240.000 \times 12 \text{ bulan} = \text{Rp. } 74.880.000$
- 3) Rupiah/kWh

$$= \text{Rp. } 74.880.000 \times 5.520 \text{ kWh} = \text{Rp. } 13.566$$

4) *Payback period*

$$= \frac{\text{total investasi}}{\text{keuntungan biaya PLTS}} = \frac{\text{Rp. } 277.975.000}{\text{Rp. } 74.880.000} = 4,8 \approx 5 \text{ tahun}$$

Tabel 6. Perhitungan NCF, DF, NCFDF dengan $i=10\%$

No	Investasi Awal (Rp)	Arus Kas Masuk (Rp)	Arus Kas Keluar (Cost)	Arus Kas Bersih (Benefit)	DF 10%	Net Benefit (Rp)
1	277.975.000	74.880.000	2.779.500	72.100.500	0.909	68.072.727
2		74.880.000	2.779.500	72.100.500	0.826	61.915.200
3		74.880.000	2.779.500	72.100.500	0.751	56.278.944
4		74.880.000	2.779.500	72.100.500	0.683	51.148.704
5		74.880.000	2.779.500	72.100.500	0.621	46.482.192
6		74.880.000	2.779.500	72.100.500	0.564	42.281.760
7		74.880.000	2.779.500	72.100.500	0.513	38.403.216
8		74.880.000	2.779.500	72.100.500	0.467	34.959.120
9		74.880.000	2.779.500	72.100.500	0.424	31.756.608
10		74.880.000	2.779.500	72.100.500	0.386	28.877.040
11		74.880.000	2.779.500	72.100.500	0.350	26.242.440
12		74.880.000	2.779.500	72.100.500	0.319	23.856.768
13		74.880.000	2.779.500	72.100.500	0.290	21.692.736
14		74.880.000	2.779.500	72.100.500	0.263	19.717.104
15		74.880.000	2.779.500	72.100.500	0.239	17.929.152
16		74.880.000	2.779.500	72.100.500	0.217	16.298.688
17		74.880.000	2.779.500	72.100.500	0.197	14.814.144
18		74.880.000	2.779.500	72.100.500	0.179	13.472.512
19		74.880.000	2.779.500	72.100.500	0.163	12.254.880
20		74.880.000	2.779.500	72.100.500	0.148	11.125.568
		Jumlah				637.411.473

1) Cara mendapatkan DF 10%

$$= \frac{1}{(1 + 0,10)} = 0,909$$

$$= \frac{2}{(1 + 0,10)^2} = 0,826$$

$$= \frac{3}{(1 + 0,10)^3} = 0,751$$

2) Cara mendapatkan net benefit (diberikan contoh sebagai berikut)

$$\text{benefit} \times DF(10\%)$$

$$\text{Rp. } 72.100.500 \times 0,909 = \text{Rp. } 68.072.727$$

$$\text{Rp. } 72.100.500 \times 0,826 = \text{Rp. } 61.915.200$$

$$\text{Rp. } 72.100.500 \times 0,751 = \text{Rp. } 56.278.944$$

3) Cara mendapatkan net cost (diberikan contoh sebagai berikut)

$$\text{cost} \times DF(10\%)$$

$$\text{Rp. } 2.779.500 \times 0,909 = \text{Rp. } 2.526.565$$

$$\text{Rp. } 2.779.500 \times 0,826 = \text{Rp. } 2.323.662$$

$$\text{Rp. } 2.779.500 \times 0,751 = \text{Rp. } 2.087.404$$

Sehingga diperoleh nilai NPV menggunakan dengan perhitungan sebagai berikut.

$$NPV = \sum_{t=1}^{t=n} Bt - \sum_{t=1}^{t=n} Ct$$

$$NPV = \sum_{t=1}^{t=n} \frac{Bt}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^{t=n} \frac{Ct}{(1+i)^t}$$

$$NPV = Rp.637.411.473 - Rp.277.975.000 = Rp.359.436.473$$

Dengan perolehan NPV bernilai positif ($NPV > 0$) maka PLTS ini layak untuk diterapkan.

e. *Discounted Payback Period (DPP)*

Discounted Payback Period (DPP) dihitung untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan hingga nilai kini kumulatif dari arus kas bersih (kumulatif PV NCF) setara dengan total investasi awal. Hingga akhir tahun ke-4, jumlah arus kas masuk yang telah didiskonto mencapai Rp237.415.575, masih kurang Rp40.559.425 untuk menutup investasi awal sebesar Rp277.975.000. Pada tahun ke-5, arus kas bersih yang didiskonto tercatat sebesar Rp46.482.192.

$$\text{Fraksi} = \frac{277.975.000 - 237.415.575}{46.482.192} \approx \frac{40.559.425}{46.482.192} \approx 0,8724$$

$$\text{Maka DPP} = 4 + 0,87 = 4,87 \text{ Tahun}$$

Dari hasil penelitian dan perhitungan di atas maka analisa hasil perencanaan diperoleh sebagai berikut.

1. Berdasarkan luas area *rooftop* dengan panjang dan lebar 12m×20m atau 240m², maka luas *rooftop* cukup untuk dipasang 3 grup panel surya.
2. Berdasarkan hasil perhitungan PLTS sistem *off-grid* maka daya yang akan dibangkitkan di Bandar Udara Kelas III Ilaga sebesar 6.000Wp yang terdiri dari 27unit panel surya dengan kapasitas 1unit modul surya yaitu 200Wp, jenis modul *monocrystalline* dengan konfigurasi 3unit panel dalam grup 1, 2, dan 3 yang dipasang seri, konfigurasi 3 grup (array dipasang paralel, 3unit inverter kapasitas 2kW dan menghasilkan energi listrik 24kWh perhari atau 8.760kWh pertahun.
3. Potensi penghematan biaya yang terpakai untuk biaya pembelian bahan bakar di Bandar Udara Kelas III Ilaga sebesar Rp.74.880.000 pertahun, dengan sumber listrik digantikan oleh PLTS *off-grid*.
4. Hasil analisis ekonomi investasi awal yang diperlukan untuk pembangunan PLTS sebesar Rp. 277.975.000 dengan metode *net present value* selama kurang lebih 15 tahun yang nilainya positif sebesar Rp.210.794.285 dengan *payback period* yang dihasilkan selama 3,7≈4 tahun.

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan luas atap Gedung dengan panjang 20m dan lebar 6m atau 120m² untuk masing-masing atap sebanyak 2 bagian atap gedung, maka jumlah panel yang akan dipasang yakni sebanyak 27 buah dengan kapasitas solar panel sebesar 220Wp jenis *monocrystalline*, baterai 12V 200Ah 16 buah, serta 3 buah inverter 2kVA serta menghasilkan energi listrik dengan rata-rata radiasi matahari 4,59kWh/m² maka energi yang dihasilkan sebesar 24kWh/hari atau 8.760kWh/tahun. Analisis kelayakan teknis dan ekonomi menunjukkan bahwa perencanaan yang dilakukan sangat layak untuk dilaksanakan ataupun dikembangkan dengan membutuhkan biaya investasi awal sebesar Rp.277.975.000 dan metode NPV selama 15 tahun, maka pada periode tahun ke-4 biaya awal investasi akan kembali sehingga pada tahun ke-5 akan mendapatkan keuntungan sebesar Rp.46.482.192.

Pemeliharaan berkala dan sesuai standar operasional prosedur diharapkan dilakukan agar komponen peralatan PLTS selalu terjaga keandalannya. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan pembelajaran ataupun referensi untuk penelitian selanjutnya mengenai perencanaan PLTS *rooftop* sistem *off-grid* dengan kapasitas 6kVA.

Daftar Pustaka

- [1] N. Safitri, *Teknologi Photovoltaic*. Banda Aceh: Yayasan Puga Aceh Riset, 2019.
- [2] NASA, "POWER Data Access Viewer," NASA Langley Research Center. [Online]. Available: <https://power.larc.nasa.gov>
- [3] A. Y. Dewi and Antonov, "Pemanfaatan Energi Surya Sebagai Suplai Cadangan pada Laboratorium Elektro Dasar di Institut Teknologi Padang," *J. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 2, 2013, [Online]. Available: <https://jte.itp.ac.id/index.php/jte/article/view/522>
- [4] R. C. Huwae, *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid 12kWp di Gedung BPSKL Wilayah Maluku Papua*. Jakarta: STT PLN, 2019.
- [5] Bank Indonesia, "BI 7-Day Reverse Repo Rate Ditahan 3,50%." Accessed: Jun. 01, 2025. [Online]. Available: <https://www.bi.go.id/id/publikasi/ruang-media/news-release/Pages/default.aspx>
- [6] A. K. Bahar and A. T. Maulana, "Perencanaan dan Simulasi Sistem PLTS Off-Grid untuk Penerangan Gedung Fakultas Teknik UNKRIS," *J. Ilm. Elektrokim.*, vol. 6, pp. 97–107, 2018.