

Analisis Potensi Energi Listrik Tenaga Surya Atap Pada Gedung PT.WNS Menggunakan Software Helioscope

Dymas Halim¹, Ahmad Dani², Beni Satria³

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pembangunan Panca Budi

¹dymas.halimm@gmail.com

Corresponding Author: dymas halim

ABSTRACT

The use of rooftop solar power plants (PLTS) is one of the strategic solutions to support the energy transition and increase the use of renewable energy in the industrial sector. This study aims to analyze the potential and performance of rooftop solar power plants at the PT. Waruna Nusa Sentana building located in Medan City, North Sumatra, using a simulation approach based on HelioScope software. The analysis was carried out by utilizing Typical Meteorological Year (TMY) weather data and technical parameters of the Photovoltaic (PV) system designed according to the geographical conditions and tropical climate of the study location. The simulation results show that the rooftop solar power system with an installed capacity of 47.36 kWp is capable of producing 66,699 kWh of annual electrical energy with a specific yield of 1,408.3 kWh/kWp/year. The system performance evaluation resulted in a performance ratio of 80.2%, indicating that the rooftop solar power system works efficiently and is in the good performance category for tropical regions. Loss analysis indicates that the largest energy losses come from the effects of cell temperature, followed by losses due to module mismatch, reflection, and losses in the inverter and AC system. Manual calculations performed as analytical verification demonstrated consistency with the simulation results, thus strengthening the validity of the approach used. This study demonstrates that the implementation of rooftop solar power plants in industrial buildings in Medan City is technically feasible and can be used as a reference in the planning and development of rooftop solar power plants in tropical regions with similar climate characteristics.

Keywords: PLTS atap; Photovoltaic; Performance Ratio; HelioScope; energi surya

ABSTRAK

Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap merupakan salah satu solusi strategis untuk mendukung transisi energi dan meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan di sektor industri. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi dan kinerja PLTS atap pada gedung PT. Waruna Nusa Sentana yang berlokasi di Kota Medan, Sumatera Utara, menggunakan pendekatan simulasi berbasis perangkat lunak HelioScope. Analisis dilakukan dengan memanfaatkan data cuaca Typical Meteorological Year (TMY) serta parameter teknis sistem Photovoltaic (PV) yang dirancang sesuai dengan kondisi geografis dan iklim tropis lokasi penelitian. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem PLTS atap dengan kapasitas terpasang sebesar 47,36 kWp mampu menghasilkan energi listrik tahunan sebesar 66.699 kWh dengan specific yield mencapai 1.408,3 kWh/kWp/tahun. Evaluasi kinerja sistem menghasilkan nilai performance ratio sebesar 80,2%, yang menunjukkan bahwa sistem PLTS atap bekerja secara efisien dan berada dalam kategori kinerja baik untuk wilayah tropis. Analisis losses mengindikasikan bahwa kerugian energi terbesar berasal dari efek temperatur sel, diikuti oleh kerugian akibat mismatch modul, refleksi, serta kerugian pada inverter dan sistem AC. Hasil perhitungan manual yang dilakukan sebagai verifikasi analitis menunjukkan konsistensi dengan hasil simulasi, sehingga memperkuat validitas pendekatan yang digunakan. Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan PLTS atap pada bangunan industri di Kota Medan layak secara teknis dan dapat dijadikan referensi dalam perencanaan dan pengembangan PLTS atap di wilayah tropis dengan karakteristik iklim serupa.

Kata Kunci: PLTS atap; Photovoltaic; Performance Ratio; HelioScope; energi surya

1. Pendahuluan

Peningkatan kebutuhan energi listrik di Indonesia seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan aktivitas industri menuntut penyediaan sumber energi yang andal dan berkelanjutan. Ketergantungan yang masih tinggi terhadap energi fosil tidak hanya menimbulkan permasalahan keterbatasan sumber daya, tetapi juga berdampak pada peningkatan emisi gas

rumah kaca(Dani & Erivianto, 2024). Dalam konteks ini, pengembangan energi terbarukan menjadi salah satu strategi utama untuk mendukung ketahanan energi nasional dan mitigasi perubahan iklim. Pemerintah Indonesia melalui Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) menargetkan bauran energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025, dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai salah satu kontributor utama.(Junior et al., 2022)

PLTS atap (rooftop photovoltaic) memiliki keunggulan sebagai sistem pembangkit listrik terdesentralisasi yang dapat diterapkan langsung pada bangunan eksisting, khususnya di sektor komersial dan industri(Dani & Erivianto, 2022). Pemanfaatan area atap bangunan memungkinkan produksi energi listrik tanpa memerlukan lahan tambahan serta dapat mengurangi beban jaringan listrik pada siang hari. Di wilayah perkotaan dan kawasan industri, PLTS atap menjadi solusi yang relevan untuk mendukung efisiensi energi dan pengurangan ketergantungan terhadap pasokan listrik konvensional.(Tuan et al., 2024)

Indonesia sebagai negara yang terletak di wilayah tropis memiliki potensi energi surya yang relatif tinggi dan merata sepanjang tahun. Kota Medan, yang berada dekat dengan garis khatulistiwa, menerima radiasi matahari tahunan yang cukup signifikan dan relatif stabil dibandingkan wilayah subtropis. Namun demikian, karakteristik iklim tropis seperti temperatur udara yang tinggi, kelembapan yang besar, serta pola curah hujan yang bervariasi dapat memengaruhi kinerja sistem PLTS. Faktor-faktor tersebut sering kali belum sepenuhnya dipertimbangkan dalam perencanaan dan evaluasi kinerja PLTS atap, sehingga potensi energi yang tersedia tidak dimanfaatkan secara optimal.(DAMIRI & LAMANIA, 2023)

Sejumlah penelitian sebelumnya telah membahas potensi dan kinerja PLTS atap di Indonesia, baik melalui pendekatan eksperimental maupun simulasi. Namun, sebagian besar studi masih bersifat umum dan tidak secara spesifik mengkaji sistem PLTS pada bangunan industri dengan mempertimbangkan kondisi iklim lokal secara rinci(Lasmanah Banjarnegara Efendi et al., 2023a). Selain itu, masih terbatas penelitian yang menyajikan analisis kinerja sistem PLTS atap berdasarkan parameter teknis yang mengacu pada standar internasional, seperti performance ratio dan analisis losses sistem.(Triana et al., 2024) Kondisi ini menunjukkan adanya celah penelitian, khususnya untuk studi kasus spesifik lokasi yang dapat dijadikan referensi teknis dalam perencanaan PLTS atap.(Samsurizal et al., 2023a)

Pendekatan simulasi berbasis perangkat lunak menjadi metode yang banyak digunakan untuk menganalisis potensi dan kinerja sistem PLTS sebelum implementasi dilakukan. Salah satu perangkat lunak yang banyak digunakan dalam perencanaan PLTS adalah HelioScope, yang mampu memodelkan sistem PV secara detail dengan mempertimbangkan data cuaca, konfigurasi sistem, tata letak modul, serta berbagai faktor kerugian energi. Penggunaan simulasi memungkinkan evaluasi kinerja sistem secara kuantitatif dan sistematis, khususnya pada tahap perencanaan awal.(Abiyasa et al., 2024)

Berdasarkan latar belakang tersebut, artikel ini bertujuan untuk menganalisis potensi dan kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya atap pada gedung PT. Waruna Nusa Sentana yang berlokasi di Kota Medan. Analisis dilakukan menggunakan simulasi HelioScope dengan memanfaatkan data cuaca Typical Meteorological Year (TMY) dan parameter teknis sistem PV. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran kuantitatif mengenai potensi energi listrik dan kinerja sistem PLTS atap pada bangunan industri di wilayah tropis, serta

menjadi referensi teknis bagi perencanaan dan pengembangan PLTS atap di lokasi dengan karakteristik iklim serupa.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Sistem Photovoltaic dan Parameter Kinerja

Sistem Photovoltaic (PV) merupakan teknologi pembangkit listrik yang mengonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaik pada material semikonduktor (Tuan et al., 2024). Energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PV berbentuk arus searah (DC) dan selanjutnya dikonversi menjadi arus bolak-balik (AC) agar dapat digunakan oleh beban listrik atau disalurkan ke jaringan (Samsurizal et al., 2023b). Sistem PV banyak diterapkan pada bangunan melalui skema PLTS atap karena fleksibilitas pemasangan dan kemampuannya memanfaatkan area atap yang tersedia (Lasmanah Banjarnegara Efendi et al., 2023b).

Kinerja sistem PV umumnya dievaluasi menggunakan beberapa parameter utama, yaitu energi listrik yang dihasilkan, specific yield (kWh/kWp), dan performance ratio (PR). Performance ratio merupakan indikator kinerja yang banyak digunakan karena mampu merepresentasikan kualitas kerja sistem PV secara keseluruhan dengan mempertimbangkan berbagai kerugian energi, namun relatif independen terhadap kondisi radiasi dan kapasitas terpasang. Nilai PR yang tinggi menunjukkan bahwa sistem PV bekerja secara efisien dan mendekati kondisi ideal.

2.2 Pengaruh Iklim Tropis terhadap Kinerja Sistem PV

Radiasi matahari merupakan energi elektromagnetik yang dipancarkan oleh matahari dan diterima di permukaan bumi. Dalam analisis sistem PV, besarnya radiasi dinyatakan dalam bentuk irradiance, yaitu daya radiasi per satuan luas dengan satuan W/m^2 . Untuk analisis energi dalam periode tertentu, irradiance diintegrasikan terhadap waktu sehingga diperoleh irradiation dengan satuan kWh/m^2 (S et al., 2025).

Parameter radiasi matahari yang umum digunakan dalam perencanaan PLTS meliputi Global Horizontal Irradiance (GHI), Direct Normal Irradiance (DNI), dan Diffuse Horizontal Irradiance (DHI). GHI merupakan jumlah radiasi langsung dan radiasi difus yang diterima oleh permukaan horizontal. Hubungan antara ketiganya dapat dinyatakan sebagai:

$$GHI = DHI \times \cos(\theta_z) + DHI$$

di mana θ_z merupakan sudut zenit matahari. GHI menjadi parameter utama dalam perencanaan PLTS atap karena data ini tersedia secara luas dalam basis data cuaca historis maupun Typical Meteorological Year (TMY).

2.3 Konfigurasi Pemasangan PLTS Atap

Pada sistem PV, modul surya umumnya dipasang dengan sudut kemiringan dan orientasi tertentu sehingga tidak selalu sejajar dengan bidang horizontal. Oleh karena itu, diperlukan transformasi radiasi dari bidang horizontal ke bidang modul. Radiasi yang diterima pada bidang modul dikenal sebagai Plane of Array (POA) irradiance.

Radiasi POA merupakan penjumlahan dari tiga komponen utama, yaitu radiasi langsung pada bidang modul, radiasi difus dari langit, dan radiasi pantulan dari permukaan tanah (albedo). Secara umum, hubungan tersebut dapat dinyatakan sebagai:

$$G_{POA} = G_{beam} + G_{diffus} + G_{reflected}$$

G_{beam} adalah komponen radiasi langsung yang berasal dari matahari dan diterima oleh permukaan modul surya sesuai dengan sudut datang sinar terhadap bidang modul. $G_{diffuse}$ adalah radiasi matahari yang telah dihamburkan oleh atmosfer dan awan sehingga mencapai permukaan modul dari berbagai arah langit. $G_{reflected}$ adalah radiasi matahari yang dipantulkan oleh permukaan tanah atau objek di sekitar modul dan kemudian diterima oleh bidang modul surya.

Besarnya radiasi POA sangat dipengaruhi oleh sudut kemiringan dan orientasi modul, posisi matahari, serta kondisi atmosfer. Pada wilayah tropis dekat khatulistiwa, variasi radiasi tahunan relatif kecil, namun konfigurasi pemasangan modul tetap berpengaruh terhadap energi listrik yang dihasilkan sepanjang tahun.

2.4 Simulasi Sistem PV Berbasis Perangkat Lunak

Energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PV bergantung pada besarnya radiasi yang diterima modul, luas permukaan modul, serta efisiensi konversi modul surya. Secara sederhana, energi listrik teoritis yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$E = G_{POA} \times A \times \eta$$

E adalah energi listrik yang dihasilkan (kWh), G_{POA} adalah irradiation pada bidang modul (kWh/m²), A adalah luas total modul surya (m²), η adalah efisiensi modul surya. Namun, dalam kondisi operasional nyata, energi listrik yang dihasilkan akan lebih rendah dari nilai teoritis akibat berbagai kerugian sistem.

2.5 Pengaruh Temperatur terhadap Daya Keluaran Modul

Kinerja modul surya sangat dipengaruhi oleh temperatur sel. Peningkatan temperatur sel di atas kondisi standar (25°C) menyebabkan penurunan tegangan kerja modul, sehingga daya keluaran menurun. Hubungan antara daya keluaran dan temperatur sel dapat dinyatakan sebagai:

$$P = P_{TSC} [1 - \gamma(T_c - 25)]$$

P adalah daya keluaran aktual, P_{TSC} adalah daya modul pada Standard Test Condition, γ adalah koefisien temperatur daya (%/°C), T_c adalah temperatur sel (°C). Pada wilayah tropis, temperatur sel yang tinggi menjadi salah satu sumber kerugian terbesar dalam sistem PV, sehingga analisis temperatur merupakan komponen penting dalam evaluasi kinerja PLTS atap.

2.6 Perhitungan Energi Listrik Sistem PV

Energi listrik tahunan sistem PV umumnya dihitung berdasarkan kapasitas terpasang dan specific yield sistem. Hubungan antara keduanya dapat dinyatakan sebagai:

$$E_{annual} = P_{installed} \times Y_{spec}$$

E_{annual} adalah energi listrik tahunan (kWh), $P_{installed}$ adalah kapasitas terpasang sistem PV (kWp), Y_{spec} adalah specific yield/hasil spesifik (kWh/kWp/tahun). Specific yield dipengaruhi oleh radiasi matahari, konfigurasi sistem, serta berbagai kerugian energi, dan sering digunakan sebagai indikator perbandingan kinerja sistem PV di berbagai lokasi.

2.7 Performance Ratio sebagai Indikator Kinerja

Performance Ratio (PR) merupakan parameter kinerja utama yang menunjukkan perbandingan antara energi listrik aktual yang dihasilkan dengan energi teoritis yang dapat dihasilkan berdasarkan radiasi matahari yang tersedia. Secara matematis, PR dapat dituliskan sebagai:

$$PR = \frac{E_{Actual}}{G_{POA} \times A \times \eta_{STC}}$$

Nilai PR yang tinggi menunjukkan bahwa sistem PV bekerja secara efisien dengan kerugian energi yang relatif kecil. Oleh karena itu, PR banyak digunakan sebagai indikator kinerja sistem PV yang independen terhadap kondisi lokasi dan kapasitas terpasang.

2.8 Komponen Utama Sistem PLTS

1. Sel Surya dan Modul Photovoltaic

Sel surya merupakan elemen dasar sistem PV yang mengonversi radiasi matahari menjadi energi listrik DC melalui efek fotovoltaik. Beberapa sel surya dirangkai secara seri dan paralel untuk membentuk modul surya dengan karakteristik listrik tertentu. Modul surya menentukan kapasitas terpasang sistem PV dan menjadi titik awal dalam rantai konversi energi.

2. Solar Charge Controller dan Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Solar charge controller berfungsi mengatur aliran daya dari modul surya ke tahap konversi berikutnya atau ke sistem penyimpanan energi. Pada sistem PV modern, pengendalian daya dilengkapi dengan algoritma Maximum Power Point Tracking (MPPT) yang bertujuan memastikan modul beroperasi pada titik daya maksimum. MPPT berkontribusi langsung terhadap peningkatan energi yang dapat diekstraksi dari radiasi matahari.

3. Inverter

Inverter berfungsi mengonversi energi listrik DC menjadi AC agar dapat digunakan oleh beban atau disalurkan ke jaringan listrik. Kinerja inverter dinyatakan dalam bentuk efisiensi konversi dan kerugian energi. Kerugian pada inverter merupakan salah satu komponen losses sistem PV yang memengaruhi energi listrik bersih yang dihasilkan.

4. Baterai

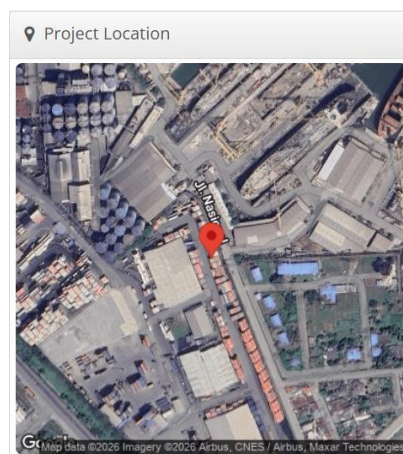
Baterai digunakan sebagai sistem penyimpanan energi pada sistem PV untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan modul surya. Penggunaan baterai umumnya diterapkan pada sistem off-grid atau hybrid. Dalam sistem PLTS atap terhubung jaringan, baterai tidak selalu digunakan, namun secara konseptual tetap menjadi bagian penting dalam sistem PV secara umum.

3. Bahan & Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis simulasi untuk menganalisis potensi dan kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap pada gedung PT. Waruna Nusa Sentana. Pendekatan simulasi dipilih karena mampu memberikan estimasi kinerja sistem PV secara sistematis dan terukur pada tahap perencanaan, khususnya untuk lokasi yang belum memiliki instalasi PLTS terpasang.

3.1 Lokasi dan Objek Penelitian

Objek penelitian adalah gedung PT. Waruna Nusa Sentana yang berlokasi di Kota Medan, Sumatera Utara. Lokasi ini berada di wilayah tropis dekat khatulistiwa dengan karakteristik radiasi matahari yang relatif tinggi sepanjang tahun. Gedung tersebut dipilih karena memiliki area atap yang representatif untuk penerapan sistem PLTS atap pada sektor industri. Analisis difokuskan pada potensi teknis dan kinerja sistem PLTS atap berdasarkan kondisi geografis dan iklim setempat.



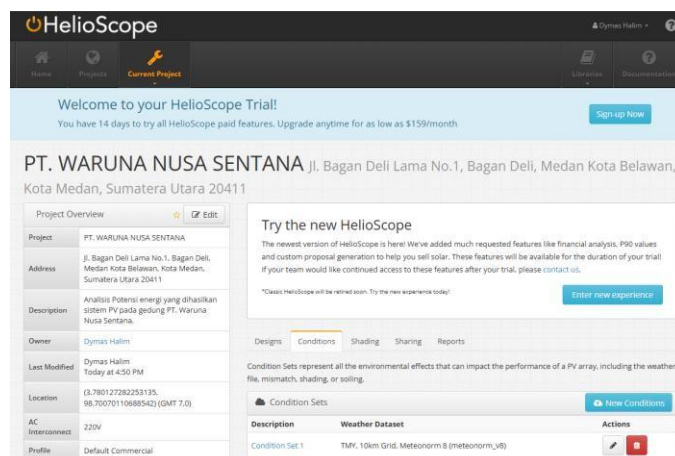
Gambar 1. Lokasi penelitian sistem PLTS

3.2 Data dan Parameter Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data cuaca, data teknis sistem PV, dan parameter lingkungan. Data cuaca diperoleh dari basis data Typical Meteorological Year (TMY) yang merepresentasikan kondisi iklim rata-rata tahunan Kota Medan. Data teknis sistem PV meliputi spesifikasi modul surya, inverter, serta konfigurasi sistem yang digunakan dalam simulasi. Parameter lingkungan yang diperhitungkan mencakup temperatur udara, albedo permukaan, dan faktor soiling yang memengaruhi kinerja sistem PV.

3.3 Perangkat Lunak Simulasi

Simulasi sistem PLTS atap dilakukan menggunakan perangkat lunak HelioScope. Perangkat lunak ini dipilih karena memiliki kemampuan pemodelan sistem PV berbasis fisika yang mencakup analisis radiasi matahari, tata letak modul, pengaruh bayangan, serta perhitungan berbagai komponen kerugian energi. HelioScope juga menyediakan integrasi langsung dengan data cuaca TMY dan basis data komponen PV, sehingga memungkinkan evaluasi kinerja sistem secara konsisten dan transparan.



Gambar 2. Perangkat lunak simulasi Helioscope

3.4 Tahapan Simulasi

Tahapan penelitian dimulai dengan pemodelan lokasi dan geometri atap gedung pada perangkat lunak simulasi. Selanjutnya dilakukan penentuan kapasitas terpasang sistem PLTS atap dan konfigurasi modul surya sesuai dengan luas area atap yang tersedia. Modul surya dan inverter dipilih berdasarkan spesifikasi teknis yang umum digunakan pada sistem PLTS atap sektor industri.

Setelah konfigurasi sistem ditentukan, parameter sudut kemiringan dan orientasi modul ditetapkan sesuai dengan kondisi lokasi. Simulasi kemudian dijalankan untuk periode satu tahun menggunakan data cuaca TMY guna memperoleh estimasi produksi energi listrik tahunan. Hasil simulasi mencakup data produksi energi bulanan dan tahunan, radiasi pada bidang modul (POA), serta berbagai komponen losses sistem.

3.5 Parameter Evaluasi Kinerja

Evaluasi kinerja sistem PLTS atap dilakukan berdasarkan beberapa parameter utama, yaitu energi listrik tahunan (kWh), specific yield (kWh/kWp), dan performance ratio (PR). Selain itu, dilakukan analisis terhadap komponen kerugian energi yang meliputi kerugian akibat temperatur, soiling, shading, mismatch, inverter, dan sistem AC. Parameter-parameter tersebut digunakan untuk menilai sejauh mana sistem PLTS atap mampu mengonversi potensi radiasi matahari menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan.

3.6 Batasan Penelitian

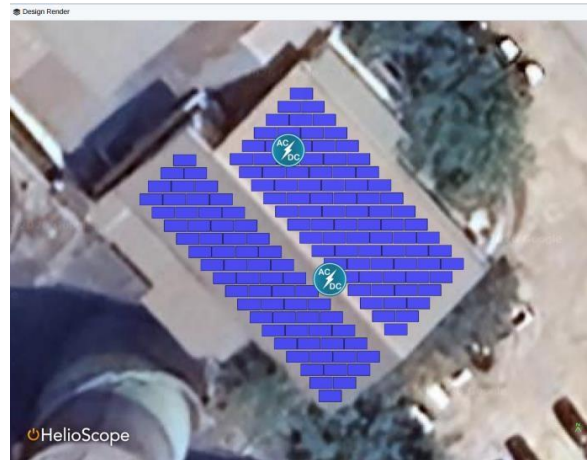
Penelitian ini dibatasi pada analisis potensi teknis dan kinerja sistem PLTS atap berdasarkan hasil simulasi. Analisis ekonomi, aspek kebijakan, serta degradasi kinerja jangka panjang modul surya tidak dibahas dalam penelitian ini. Selain itu, hasil penelitian merepresentasikan kondisi ideal berdasarkan data TMY dan tidak mencakup variasi cuaca ekstrem atau pengukuran lapangan secara langsung.

4. Hasil

4.1 Konfigurasi Sistem PLTS Atap

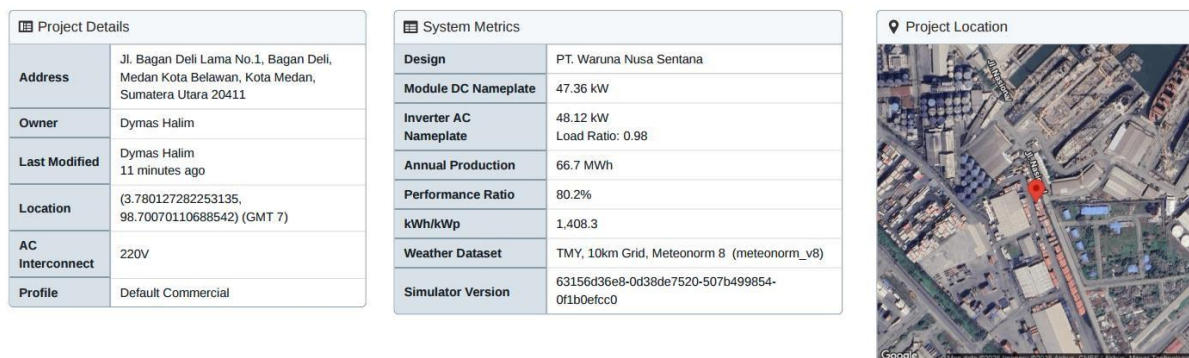
Berdasarkan hasil pemodelan menggunakan perangkat lunak HelioScope, sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap yang dirancang pada gedung PT. Waruna Nusa

Sentana memiliki kapasitas terpasang sebesar 47,36 kWp, yang terdiri dari 148 modul surya berdaya 320 Wp. Sistem ini menggunakan dua inverter dengan total kapasitas AC 48,12 kW, sehingga rasio DC/AC sebesar 0,98. Nilai rasio tersebut berada dalam rentang optimal untuk sistem PLTS atap komersial dan menunjukkan bahwa kapasitas inverter mampu mengakomodasi daya puncak modul tanpa kehilangan energi akibat clipping yang signifikan.



Gambar 3. Konfigurasi Sistem PLTS Atap

Modul surya dipasang dengan sudut kemiringan 10° dan orientasi 180° (menghadap selatan). Pemilihan sudut kemiringan yang relatif kecil sesuai dengan karakteristik lokasi penelitian yang berada dekat dengan garis khatulistiwa, di mana posisi matahari relatif tinggi sepanjang tahun. Konfigurasi ini bertujuan untuk memperoleh produksi energi yang stabil sekaligus mengurangi potensi akumulasi kotoran pada permukaan modul.



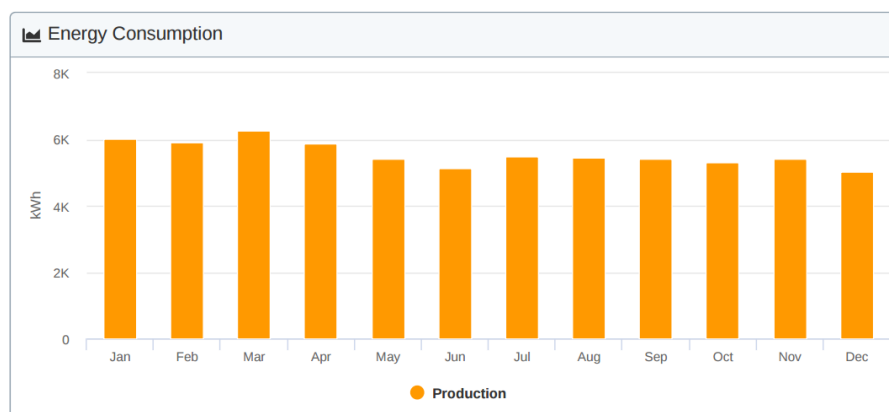
Gambar 4. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap

4.2 Produksi Energi Listrik Tahunan dan Bulanan

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem PLTS atap menghasilkan energi listrik tahunan sebesar 66.699 kWh/tahun atau sekitar 66,7 MWh/tahun. Nilai specific yield yang diperoleh sebesar 1.408,3 kWh/kWp/tahun, yang menunjukkan potensi radiasi matahari di lokasi penelitian dapat dimanfaatkan dengan baik oleh sistem PLTS atap.

Gambar 3 menampilkan grafik produksi energi listrik bulanan hasil simulasi HelioScope. Terlihat bahwa produksi energi relatif merata sepanjang tahun, dengan nilai tertinggi terjadi pada bulan Maret dan terendah pada bulan Desember. Pola ini mencerminkan karakteristik iklim Kota Medan yang memiliki variasi radiasi matahari musiman yang relatif kecil

dibandingkan wilayah subtropis, namun tetap dipengaruhi oleh curah hujan dan tutupan awan pada periode tertentu.



Gambar 5. Grafik produksi energi listrik bulanan hasil simulasi HelioScope

Energi listrik tahunan dapat dihitung secara manual menggunakan pendekatan specific yield:

$$E_{annual} = P_{installed} \times Y_{spec}$$

Dengan :

$$P_{installed} = 47,36 \text{ kWp}$$

$$Y_{spec} = 1.408,3 \text{ kWh/kWp/tahun}$$

$$E_{annual} = 47,36 \times 1.408,3 = 66.7 \text{ MWh/tahun}$$

Hasil perhitungan manual ini konsisten dengan hasil simulasi HelioScope, sehingga memperkuat validitas estimasi produksi energi sistem.

4.3 Analisis Performance Ratio Sistem

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem PLTS atap memiliki nilai Performance Ratio (PR) sebesar 80,2%. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem mampu mengonversi sebagian besar potensi radiasi matahari yang tersedia menjadi energi listrik setelah memperhitungkan berbagai kerugian sistem. Nilai PR tersebut berada dalam rentang kinerja yang baik untuk sistem PLTS atap di wilayah tropis, yang umumnya berkisar antara 75–82%.

Secara konseptual, performance ratio dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$PR = \frac{Y_{spec}}{H_{POA}}$$

Dengan :

$$Y_{spec} = 1.408,3 \text{ kWh/kWp/tahun}$$

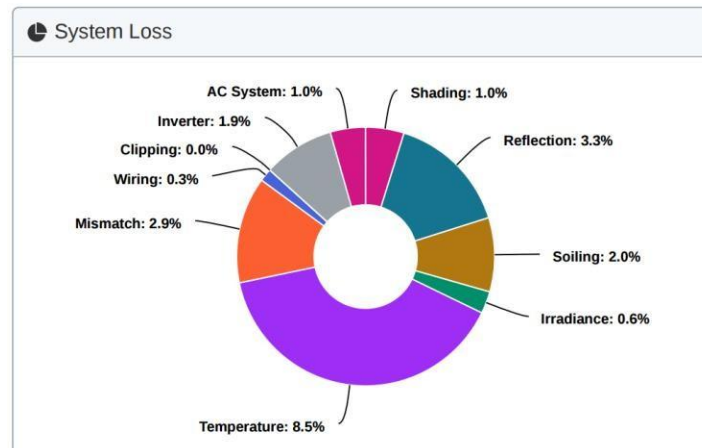
$$H_{POA} = 1.646,7 \text{ kWh/m}^2\text{/tahun}$$

$$PR = \frac{1.408,3}{1.646,7} = 0,86$$

Nilai ini kemudian mengalami reduksi akibat berbagai kerugian sistem, sehingga nilai PR efektif sistem sebesar 80,2% sebagaimana diperoleh dari hasil simulasi. Perhitungan ini menunjukkan bahwa nilai PR yang diperoleh bersifat konsisten secara fisik dan realistis.

4.4 Analisis Kerugian Energi Sistem (Losses)

Gambar 3 menunjukkan grafik breakdown losses sistem PLTS atap berdasarkan hasil simulasi HelioScope. Terlihat bahwa kerugian terbesar berasal dari efek temperatur, yaitu sebesar 8,5%, diikuti oleh losses akibat refleksi (3,3%), mismatch modul (2,9%), soiling (2,0%), serta kerugian inverter dan sistem AC dengan total sekitar 3%.



Gambar 6. Grafik breakdown losses sistem PLTS

Dominasi losses akibat temperatur menunjukkan bahwa kondisi iklim tropis dengan temperatur lingkungan yang relatif tinggi memberikan pengaruh signifikan terhadap kinerja sistem PV. Temperatur sel rata-rata sistem sebesar 38,4°C, yang berada jauh di atas kondisi standar pengujian modul (25°C). γ adalah koefisien temperatur daya maksimum (Temperature Coefficient of Pmax). Nilainya diambil dari datasheet modul surya yang digunakan dalam simulasi HelioScope. Untuk modul silikon kristalin (mono/poly), nilai γ umumnya berada pada rentang -0,35 hingga -0,45 %/°C.

Kerugian daya akibat temperatur dapat diestimasi menggunakan koefisien temperatur daya modul:

$$\Delta P = \gamma(T_c - 25)$$

Dengan :

$$\gamma = -0,39\% / ^\circ\text{C}$$

$$T_c = 38,4^\circ\text{C}$$

$$\Delta P = -0.39(38,4 - 25) = 5,2\%$$

Nilai ini sejalan dengan hasil simulasi ketika dikombinasikan dengan faktor operasi dan lingkungan lainnya, sehingga memperkuat interpretasi bahwa temperatur merupakan sumber losses utama pada sistem PLTS atap di wilayah tropis. Setiap kenaikan temperatur sel sebesar 1°C di atas 25°C akan menurunkan daya maksimum modul sebesar ±0,39%.

4.5 Hasil Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem PLTS atap pada gedung PT. Waruna Nusa Sentana memiliki potensi teknis yang baik dengan produksi energi tahunan yang stabil dan nilai performance ratio yang tinggi. Meskipun iklim tropis menyebabkan losses temperatur yang signifikan, sistem tetap mampu bekerja secara efisien dan layak diterapkan pada bangunan industri di wilayah tropis. Hasil ini sejalan dengan studi-studi sebelumnya yang menyatakan bahwa PLTS atap di wilayah tropis dapat mencapai kinerja yang baik apabila dirancang dengan konfigurasi yang sesuai. Berdasarkan data simulasi, nilai specific yield sistem sebesar 1.408

kWh/kWp/tahun menunjukkan bahwa potensi radiasi matahari di lokasi penelitian dapat dimanfaatkan secara efektif oleh sistem PLTS atap.

5. Kesimpulan

Penelitian ini menganalisis potensi dan kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap pada gedung PT. Waruna Nusa Sentana di Kota Medan menggunakan simulasi berbasis HelioScope. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem PLTS atap dengan kapasitas terpasang 47,36 kWp mampu menghasilkan energi listrik tahunan sebesar 66.699 kWh dengan specific yield 1.408,3 kWh/kWp/tahun. Nilai tersebut menunjukkan bahwa potensi radiasi matahari di wilayah tropis dapat dimanfaatkan secara efektif pada bangunan industri. Evaluasi kinerja sistem menghasilkan nilai performance ratio sebesar 80,2%, yang berada dalam kategori baik untuk sistem PLTS atap di wilayah tropis. Analisis losses menunjukkan bahwa kerugian energi terbesar berasal dari efek temperatur sel akibat kondisi iklim tropis, diikuti oleh kerugian akibat mismatch modul, refleksi, serta kerugian inverter dan sistem AC. Hasil perhitungan manual menunjukkan konsistensi dengan hasil simulasi, sehingga memperkuat validitas analisis kinerja sistem.

REFERENSI

- [1]. Abiyasa, A. P., Wismanara, I. G. N. N., Suriana, I. W., Sukadana, I. W., Adrama, I. N. G., Indrashwara, D. C., & Prathama, G. H. (2024). Simulation of Rooftop Solar Photovoltaic for Tourist Accommodation Villa as a Mean to Promote Green Tourism in Bali – Indonesia. *IOP Conference Series*, 1395(1), 012014–012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1395/1/012014>
- [2]. DAMIRI, D. J., & LAMANIA, R. R. L. (2023). Design and Simulation of On-Grid Rooftop Solar Power Plant (Rooftop PV) System on Office Buildings with a PLN Grid System. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 11(1), 231–231. <https://doi.org/10.26760/ELKOMIKA.V11I1.231>
- [3]. Dani, A., & Erivianto, D. (2022). Studi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off Grid Skala Rumah Tangga pada Daerah Bagan Deli Menggunakan Pvsyst. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 3(09), 961–972. <https://doi.org/10.59141/JIST.V3I09.496>
- [4]. Dani, A., & Erivianto, D. (2024). Potential of rooftop solar electric energy on campus buildings high school of technology Sinar Husni using helioscope software. *Informatika Dan Sains*, 14(01), 2024. <https://doi.org/10.54209/infosains.v14i01>
- [5]. Junior, S., Nyoman, I., Kumara, S., Ayu, I., & Giriantari, D. (2022). PERKEMBANGAN PEMANFAATAN PLTS DI DKI JAKARTA MENUJU TARGET 13,8 MW TAHUN 2025. *Jurnal SPEKTRUM*, 9(1), 62–71. <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2022.V09.I01.P8>
- [6]. Lasmanah Banjarnegara Efendi, A., Imani Muslim, A., & De Wibowo Muhammad Sidik, A. (2023a). Design and Analysis of Grid Connected Photovoltaic Rooftop System in Emergency Room (IGD) Regional General Hospital (RSUD) Hj. Anna Lasmanah Banjarnegara. *Fidelity : Jurnal Teknik Elektro*, 5(1), 18–27. <https://doi.org/10.52005/FIDELITY.V5I1.134>
- [7]. Lasmanah Banjarnegara Efendi, A., Imani Muslim, A., & De Wibowo Muhammad



- Sidik, A. (2023b). Design and Analysis of Grid Connected Photovoltaic Rooftop System in Emergency Room (IGD) Regional General Hospital (RSUD) Hj. Anna Lasmanah Banjarnegara. *Fidelity : Jurnal Teknik Elektro*, 5(1), 18–27. <https://doi.org/10.52005/FIDELITY.V5I1.134>
- [8]. S, A., Aziizudin, A., Purnomo, A., Halim, D. A., Yogiswara, C. W., & Putra, S. D. H. (2025). Analysis of Rooftop Solar Power Plant Development Potential in Magelang City: A Case Study of Office Buildings, Universities, And Hotels. *Journal of Renewable Energy and Mechanics*, 8(01), 10–26. <https://doi.org/10.25299/REM.2025.20775>
- [9]. Samsurizal, S., Pasra, N., & Adewijaya, S. R. (2023a). Design And Simulation Of Solar Power Generation On Rooftops Towards Clean Technology. *Eksergi: Jurnal Teknik Energi*, 19(2), 55–55. <https://doi.org/10.32497/EKSERGI.V19I2.4467>
- [10]. Samsurizal, S., Pasra, N., & Adewijaya, S. R. (2023b). Design And Simulation Of Solar Power Generation On Rooftops Towards Clean Technology. *Eksergi: Jurnal Teknik Energi*, 19(2), 55–55. <https://doi.org/10.32497/EKSERGI.V19I2.4467>
- [11]. Triana, D., Garniwa, I., Rosadi, A. H. Y., & Martono, D. N. (2024). Performance Analysis Simulation of Urban Rooftop Photovoltaic Potential in Jakarta City, Indonesia. *Environmental Research, Engineering and Management*, 80(4), 21–38. <https://doi.org/10.5755/J01.EREM.80.4.34200>
- [12]. Tuan, H., 1✉, B., Dani, A., & Erivianto, D. (2024). Studi Optimalisasi Sudut Kemiringan dan Azimut Panel Surya Terhadap Output PLTS Menggunakan Perangkat Lunak PVSyst. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4(6), 83–95. <https://doi.org/10.31004/INNOVATIVE.V4I6.16114>
- [13].