

Pemanfaatan GIS untuk Perencanaan dan Optimasi PLTS Rooftop di Gedung Teknik UNG

^{1*} Ikhsan Hidayat, ² Sardi Salim, ³ Ade Irawati Tolago, ⁴ Zainuddin Bonok,

¹ Teknik Komputer, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo

^{2,3,4} Teknik Elektro, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo

¹ikhسانhidayat@ung.ac.id, ²sardi@ung.ac.id, ³

adeirawty75@ung.ac.id ⁴zainudinbonok@ung.ac.id

Article Info

Keyword:

GIS
PLTS
Perancangan
Rooftop

Copyright © 2025 -SNTE
All rights reserved

ABSTRACT (11 PT)

Abstrak— Penelitian ini mengkaji pemanfaatan Geographic Information System (GIS) dalam perencanaan dan optimasi PLTS rooftop di Gedung Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo (UNG) Kampus 4. Melalui integrasi GIS dan simulasi teknis menggunakan HelioScope, dirancang sistem berkapasitas 368,79 kWp dengan 647 modul Canadian Solar 570W dan 99 inverter Huawei 3 kW. Hasil simulasi menunjukkan produksi energi tahunan sebesar 486,5 MWh, dengan solar access rata-rata 99,2% sehingga dampak bayangan hampir tidak ada. Sistem terbagi dalam 7 segmen field (C2, C3, C4, C5, C6, Civil Lab, dan Industry Lab) yang dioptimalkan sesuai karakteristik atap. Analisis teknis juga mengidentifikasi faktor-faktor kehilangan energi untuk memvalidasi kinerja sistem. Dari sisi ekonomi, evaluasi berbasis data kapasitas dan output energi menunjukkan proyek ini layak dan berkelanjutan, serta mendukung inisiatif kampus hijau dan target net zero emission. Penelitian ini dapat menjadi model percontohan implementasi PLTS rooftop di lingkungan pendidikan, khususnya kawasan Indonesia Timur.

Corresponding Author:

Ikhsan Hidayat,
Teknik Komputer, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo,
Jln. Jenderal Sudirman No. 6
Email: ikhsanhidayat@ung.ac.id

I. PENDAHULUAN

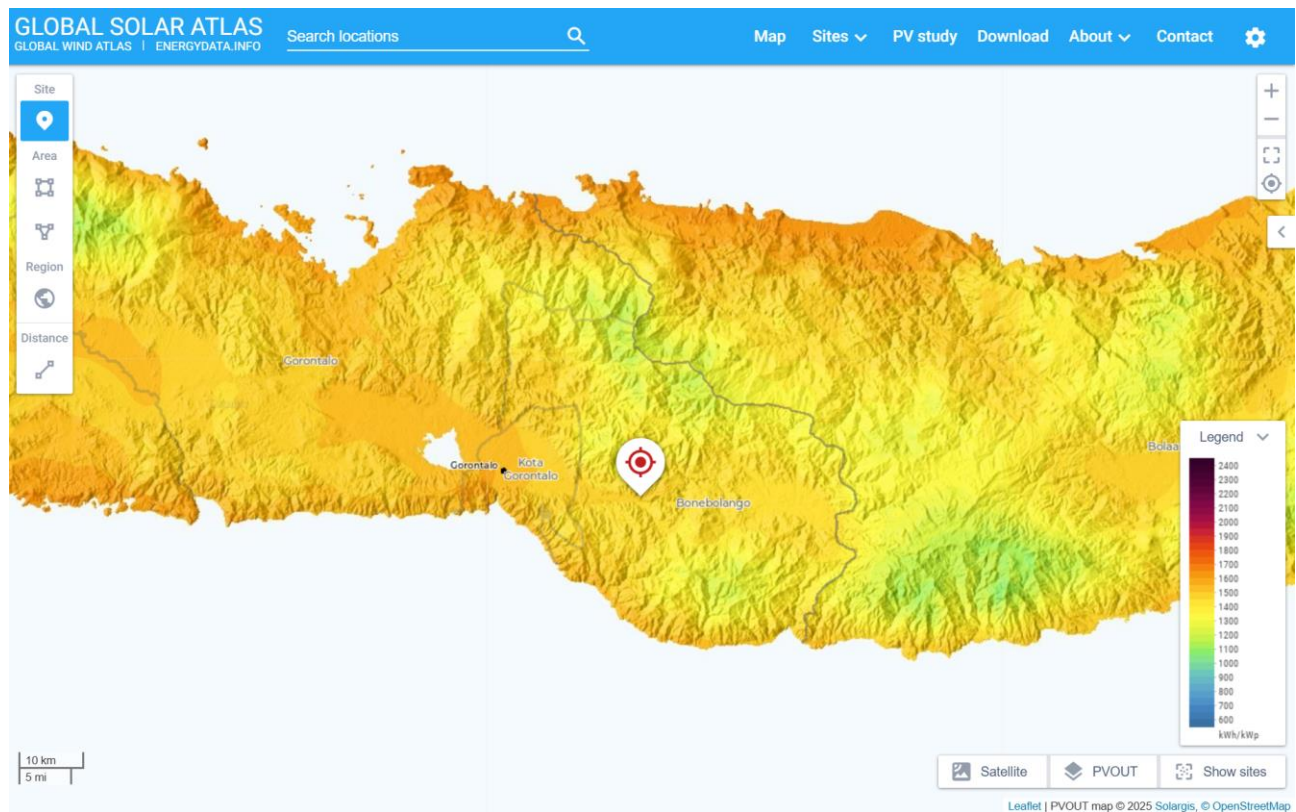
Seiring meningkatnya kebutuhan energi listrik dan komitmen global terhadap pengurangan emisi karbon, pemanfaatan energi terbarukan menjadi prioritas utama [1]. Universitas Negeri Gorontalo (UNG) sebagai institusi pendidikan tinggi memiliki peran strategis dalam mendorong pengembangan energi ramah lingkungan, salah satunya melalui pemanfaatan atap bangunan kampus untuk instalasi PLTS rooftop. Gedung Fakultas Teknik di Kampus 4 Bone Bolango dipilih sebagai objek penelitian karena memiliki luas atap yang memadai serta paparan sinar matahari yang tinggi sepanjang tahun.

Studi terdahulu telah menilai potensi dan kelayakan PLTS di lingkungan kampus utama UNG, sebagaimana dilakukan oleh Salim et al. [2][12] dan Mohamad et al. [3][4]. Penelitian Hidayat et al. juga menyoroti efektivitas sistem inverter serta penerapan teknologi PLTS untuk skala rumah tangga maupun institusional, termasuk pemanfaatan pendekatan spasial berbasis GIS (Geographic Information System) [5][6][7]. Selain itu, konsep energi surya juga telah diterapkan untuk mendukung kualitas pembelajaran di daerah 3T melalui platform mandiri berbasis tenaga surya [8].

Meskipun demikian, sebagian besar studi terdahulu masih berfokus pada kampus utama UNG atau pada aplikasi umum di skala rumah tangga dan institusional. Belum ada penelitian yang secara khusus mengintegrasikan analisis spasial berbasis GIS dengan simulasi teknis HelioScope untuk mengevaluasi

potensi PLTS rooftop pada Gedung Fakultas Teknik Kampus 4 Bone Bolango. Dengan demikian, penelitian ini menawarkan novelty pada pendekatan integratif GIS–HelioScope untuk lokasi spesifik tersebut, yang hingga kini belum pernah dikaji sebelumnya.

Lokasi penelitian berada di Kampus 4 UNG, Bone Bolango, sebagaimana ditunjukkan pada Global Solar Atlas (Gambar 1). Peta ini menunjukkan bahwa wilayah Bone Bolango memiliki tingkat radiasi surya yang relatif tinggi, sehingga mendukung penerapan sistem PLTS rooftop di area kampus.



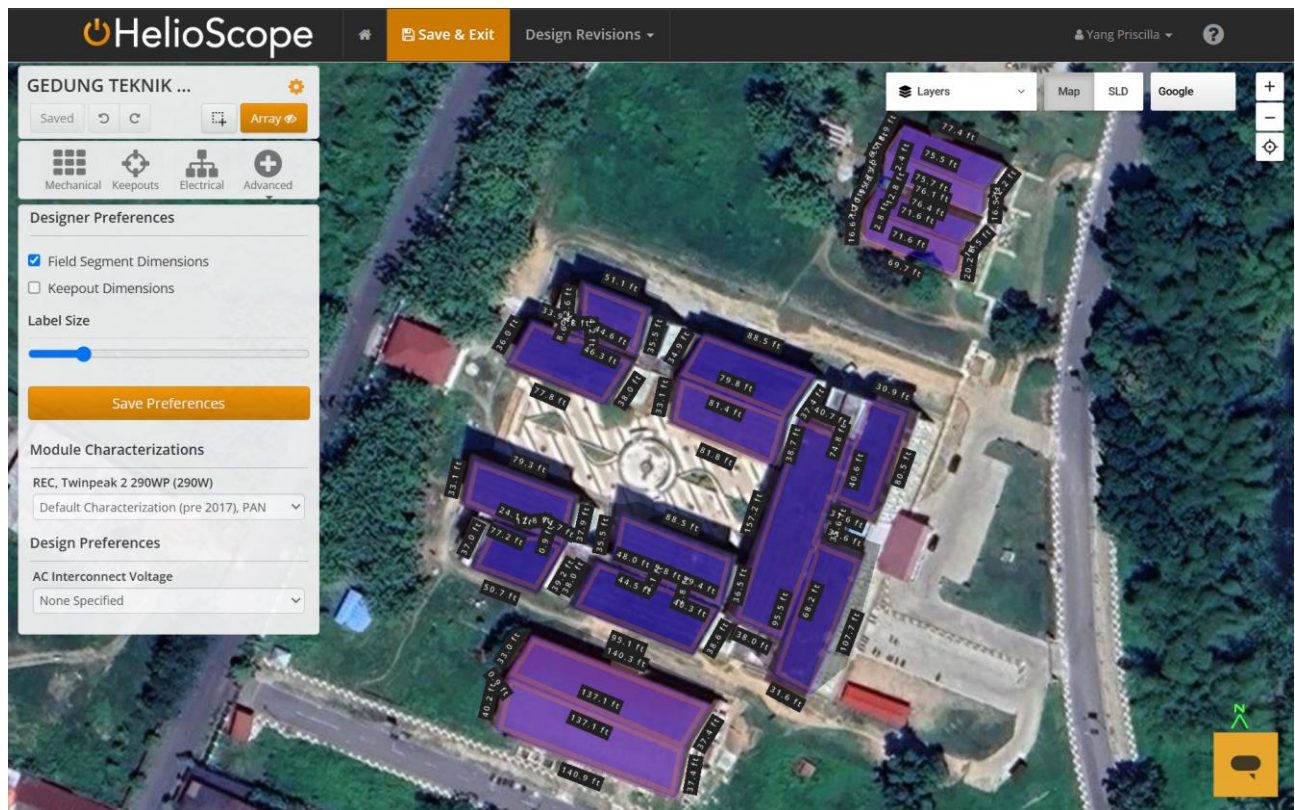
Gbr. 1 Potensi Energi Surya di Bone Bolango berdasarkan Global Solar Atlas, 2025

II. WILAYAH STUDI

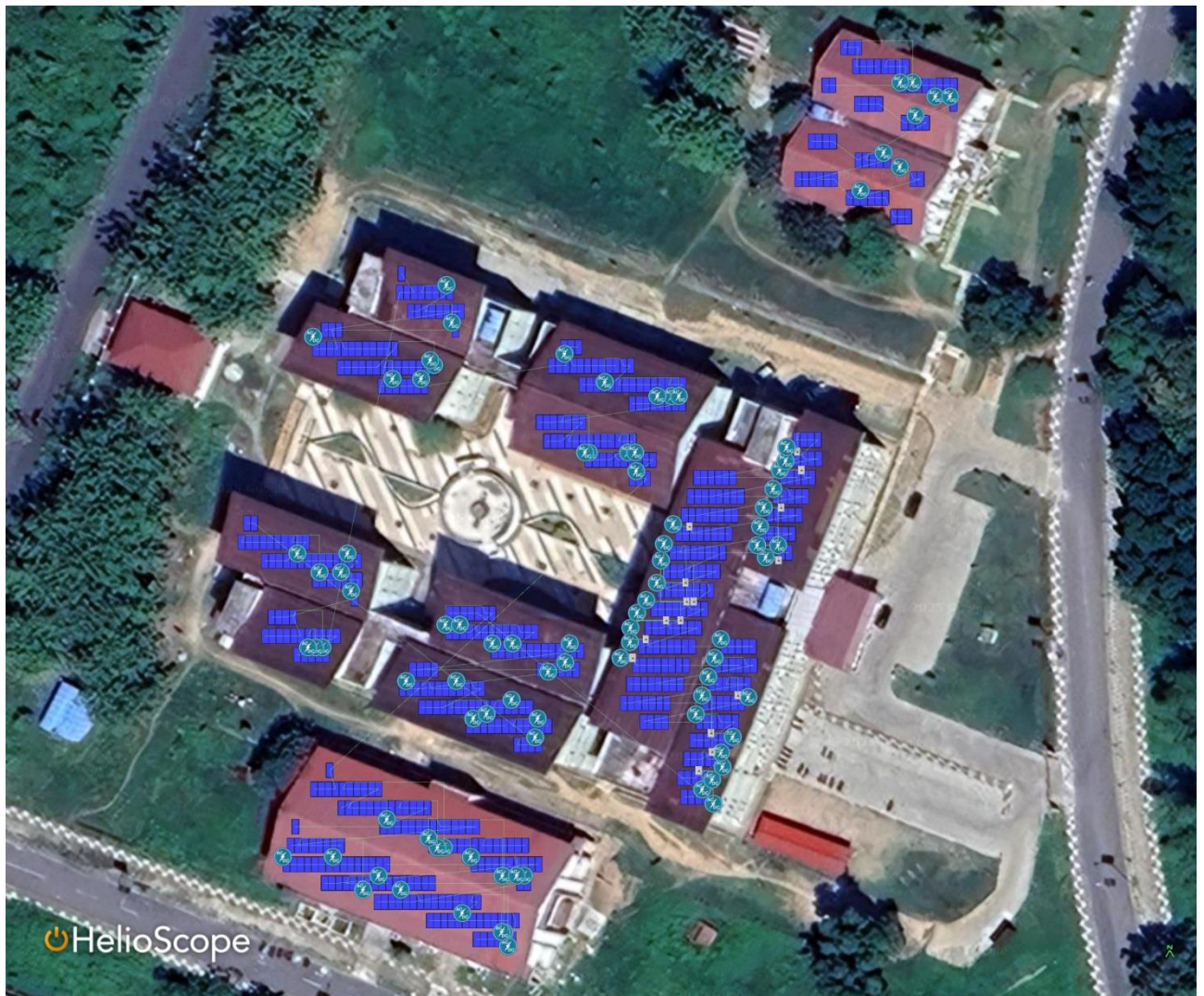
Dalam penelitian ini, dilakukan analisis terhadap keluaran sistem PV surya dengan berbagai ukuran panel yang memiliki efisiensi identik. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak HelioScope, yang memungkinkan perhitungan teknis berbasis kondisi nyata pada lokasi studi.

Fokus utama penelitian adalah menunjukkan bahwa pada area atap yang sama, kapasitas pembangkitan listrik dari sistem PV surya sangat dipengaruhi oleh pemilihan ukuran panel yang optimum. Meskipun efisiensi modul relatif identik, variasi ukuran panel dapat menghasilkan perbedaan signifikan dalam keluaran daya. Lokasi penelitian berada di Kampus 4 Universitas Negeri Gorontalo (UNG), tepatnya pada koordinat 0.5692° Lintang Utara dan 123.1414° Bujur Timur, yang termasuk wilayah Kabupaten Bone Bolango. Desain sistem difokuskan pada 7 gedung utama Fakultas Teknik, yang dipilih berdasarkan luas dan kelayakan atap untuk pemasangan modul PV.

Dengan memanfaatkan HelioScope, dilakukan simulasi untuk memetakan potensi energi surya di setiap atap gedung, menentukan konfigurasi array, serta memilih ukuran panel yang paling sesuai agar dapat mengoptimalkan produksi energi listrik dari sistem PV rooftop.



Gbr. 2 Desain sistem PLTS rooftop pada Gedung Fakultas Teknik UNG dengan aplikasi HelioScope



Gbr. 3 Desain sistem PLTS rooftop pada Gedung Fakultas Teknik UNG dengan panel dan posisi inverter

Southwestern Angle



Gbr. 4 Pandangan dari arah Barat Daya

📷 Southeastern Angle



Gbr. 5 Pandangan dari arah Tenggara.

A. Spesifikasi Komponen

Dalam penelitian ini, digunakan beberapa komponen utama yang berfungsi sebagai sumber energi, pengubah daya, serta penunjang sistem. Adapun komponen yang menjadi fokus adalah inverter dan modul panel fotovoltaik (PV).

Tabel 1 menampilkan detail spesifikasi dari kedua komponen utama tersebut. Inverter yang digunakan adalah Huawei SUN2000-3KTL-M0 dengan kapasitas daya keluaran AC maksimum 3,00 kW, tegangan keluaran AC 230 V / 400 V (3-fasa), serta rentang tegangan MPPT 80 V hingga 550 V. Inverter ini juga memiliki efisiensi maksimum 98,6% dan dilengkapi 2 saluran MPPT, sehingga mampu mengoptimalkan produksi energi bahkan dalam kondisi pencahayaan yang tidak merata di berbagai string. Sementara modul surya yang digunakan adalah Canadian Solar HiKu CS6Y-570MS berdaya puncak 570 W. Panel monokristalin ini dilengkapi teknologi *half-cut* dan *multi-busbar* yang meningkatkan efisiensi dan ketahanan terhadap kerugian akibat naungan sebagian. Dengan koefisien suhu $-0,34\text{ }^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$, modul ini mampu menjaga performa yang stabil dalam kondisi suhu tinggi seperti di wilayah Gorontalo.

Kombinasi 99 unit inverter Huawei dan 647 panel Canadian Solar dipilih berdasarkan pertimbangan keandalan, efisiensi, kompatibilitas teknis, serta optimasi biaya. Konfigurasi ini memastikan sistem dapat beroperasi pada performa terbaik dengan rasio DC/AC sebesar 1,24, yang dianggap optimal untuk memaksimalkan produksi energi tanpa sering terjadi kliping pada inverter.

TABEL I
TABEL SPESIFIKASI INVERTER DAN MODUL PV

Inverter	Spesifikasi	Modul Panel PV	Spesifikasi
Name	SUN2000-3KTL-M0	Name	HiKu CS6Y-570MS
Manufacturer	Huawei	Manufacturer	Canadian Solar
Max Power (AC Output)	3.00 kW	Power (Pmax)	570 W
Rated Output Voltage	230 V / 400 V (3-fasa)	Module Type	Monokristalin (Half-Cell)
Max DC Voltage	550 V	Technology	Mono-cSi (144 cells)
MPPT Voltage Range	80 V – 550 V	Temperature Coefficient (Pmax)	-0.34 %/°C
Max Efficiency	98.6%		
Number of MPPT Trackers	2		
AC Output	230 V		

TABEL II
TABEL KOMPONEN SISTEM PLTS ROOFTOP

Komponen	Nama	Jumlah / Spesifikasi
Inverter	Huawei SUN2000-3KTL-M0	99 unit (297,00 kW)
Home Runs	Kabel 12 AWG (Tembaga)	99 jalur (561,2 ft)
Combiner	Combiner 1 input	99 unit
Strings	Kabel 10 AWG (Tembaga)	99 string (3.389,0 ft)
Modul Surya	Canadian Solar HiKu CS6Y-570MS (570W)	647 unit (368,79 kW)

Sistem PLTS rooftop di Gedung Teknik UNG dirancang dengan pembagian zona pengkabelan (wiring zones) untuk memastikan koneksi yang efisien antara modul surya, string, combiner, hingga inverter. Desain ini penting untuk mengurangi potensi kerugian daya akibat panjang kabel yang berlebihan serta mempermudah proses instalasi dan pemeliharaan. Setiap zona wiring memiliki jumlah combiner poles, ukuran string, dan strategi stringing tertentu yang disesuaikan dengan tata letak modul di lapangan.

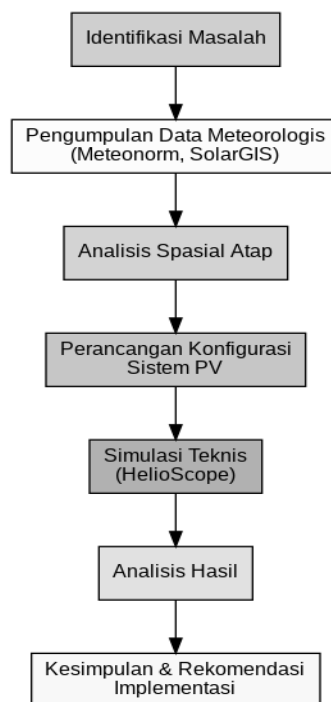
TABEL III
TABEL WIRING ZONES

Deskripsi	Jumlah Combiner Poles	Ukuran String	Strategi Stringing
Wiring Zone	12	3–18	Along Racking

III. METODOLOGI DAN HASIL

Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak berbasis web **HelioScope** (lihat Gambar 3) untuk menghitung jumlah panel surya yang dapat dipasang di atap gedung. Fokus simulasi ini adalah **Gedung Teknik Kampus 4 UNG**. Estimasi dilakukan terhadap jumlah kilowatt-jam (kWh) yang dapat dihasilkan per hari, per bulan, dan per tahun menggunakan panel surya dan inverter yang dipilih. Data meteorologis mengenai kondisi cuaca, termasuk tingkat radiasi matahari, suhu, dan parameter relevan lainnya, diperoleh dari perangkat lunak Meteonorm serta peta SolarGIS untuk wilayah Gorontalo, Indonesia. Data tersebut menjadi dasar penting dalam memprediksi potensi produksi energi sistem PV surya secara akurat.

Untuk memperoleh gambaran potensi produksi energi dari sistem fotovoltaik (PV) yang akan dipasang pada Gedung Teknik Kampus 4 UNG, diperlukan suatu metodologi yang sistematis. Proses simulasi ini disusun dalam bentuk tahapan yang menggambarkan alur kerja mulai dari pemilihan perangkat lunak, pengumpulan data, penentuan parameter teknis, hingga analisis hasil. Flowchart berikut menyajikan langkah-langkah metodologi penelitian yang digunakan, sehingga memberikan pemahaman yang lebih jelas mengenai proses perhitungan kapasitas sistem, estimasi produksi energi, serta evaluasi kinerja sistem PV surya yang direncanakan. Gambar 6 menjelaskan langkah-langkah utama metodologi penelitian.



Gambar 6. Metodologi Simulasi Sistem PV Gedung Teknik Kampus 4 UNG

Gedung Teknik Kampus 4 UNG menggunakan sistem pemasangan **Flush Mount (rak datar)** dengan orientasi panel **Portrait (Vertikal)** untuk mengoptimalkan paparan sinar matahari. **Sudut kemiringan (tilt) 10°** dan **azimut 180°** (menghadap utara) ditetapkan untuk memaksimalkan penyerapan energi surya. Jarak antar baris (*intrarow spacing*) diatur pada **2,0 kaki (0,6 meter)** untuk meningkatkan efisiensi ruang. Sistem ini terbagi ke dalam **7 segmen (C2, C3, C4, C5, C6, Civil Lab, Industry Lab)** dengan total **647 modul**. Kapasitas daya keseluruhan instalasi panel surya adalah **368,79 kWp**, yang berkontribusi signifikan terhadap kebutuhan energi gedung. Berdasarkan hasil simulasi HelioScope, kapasitas terpasang sistem adalah **368,79 kWp DC** dengan kapasitas inverter **297,00 kW AC**. Secara kolektif, kapasitas ini merupakan langkah penting dalam mendukung kebutuhan energi Gedung Teknik UNG serta tujuan keberlanjutan universitas dengan mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan dampak lingkungannya. Instalasi ini ditopang oleh total **647 panel surya** yang dipasang di atap gedung.

Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak berbasis web HelioScope untuk menghitung jumlah panel surya yang dapat dipasang di atap Gedung Teknik Kampus 4 UNG. Data meteorologis diperoleh dari

Meteonorm serta peta SolarGIS untuk wilayah Gorontalo, Indonesia, yang mencakup radiasi matahari, suhu, dan parameter iklim lain. Perhitungan dilakukan dengan model presisi, termasuk Perez Model untuk transposisi radiasi, Sandia Model untuk estimasi suhu modul, serta Typical Meteorological Year (TMY) sebagai data iklim acuan. Sistem ini terdiri dari **99 unit inverter Huawei SUN2000-3KTL-M0 (3 kW)** dengan total kapasitas AC **297,00 kW**, serta **647 modul Canadian Solar HiKu CS6Y-570MS (570 W)** dengan total daya DC **368,79 kW**. Terdapat **99 string** menggunakan kabel **10 AWG (tembaga)** sepanjang **3.389 kaki (1.033 m)** dan **99 home run** dengan kabel **12 AWG (tembaga)** sepanjang **561,2 kaki (171 m)** untuk menghubungkan modul ke inverter. Dengan konfigurasi ini, kapasitas *nameplate* DC adalah **368,79 kW**, sedangkan kapasitas *nameplate* inverter AC adalah **297,00 kW**. Produksi energi tahunan yang diproyeksikan dari sistem PV rooftop ini adalah **486,5 MWh (486.500 kWh)**.

Detail pembangkitan energi per segmen ditampilkan pada tabel berikut:

TABEL IV
TOTAL PV DAN PRODUKSI ENERGI PER SEGMENT

Deskripsi	Orientasi	Jumlah Modul	Daya (kWp)	Produksi Energi Tahunan (AC)
C2	Portrait (Vertikal)	187	106,59	141,5 MWh
C3	Portrait (Vertikal)	87	49,59	65,1 MWh
C4	Portrait (Vertikal)	54	30,78	40,7 MWh
C6	Portrait (Vertikal)	54	30,78	40,8 MWh
C5	Portrait (Vertikal)	71	40,47	51,7 MWh
Civil Lab	Portrait (Vertikal)	138	78,66	104,5 MWh
Industry Lab	Portrait (Vertikal)	56	31,92	42,3 MWh
Total		647	368,79	486,5 MWh

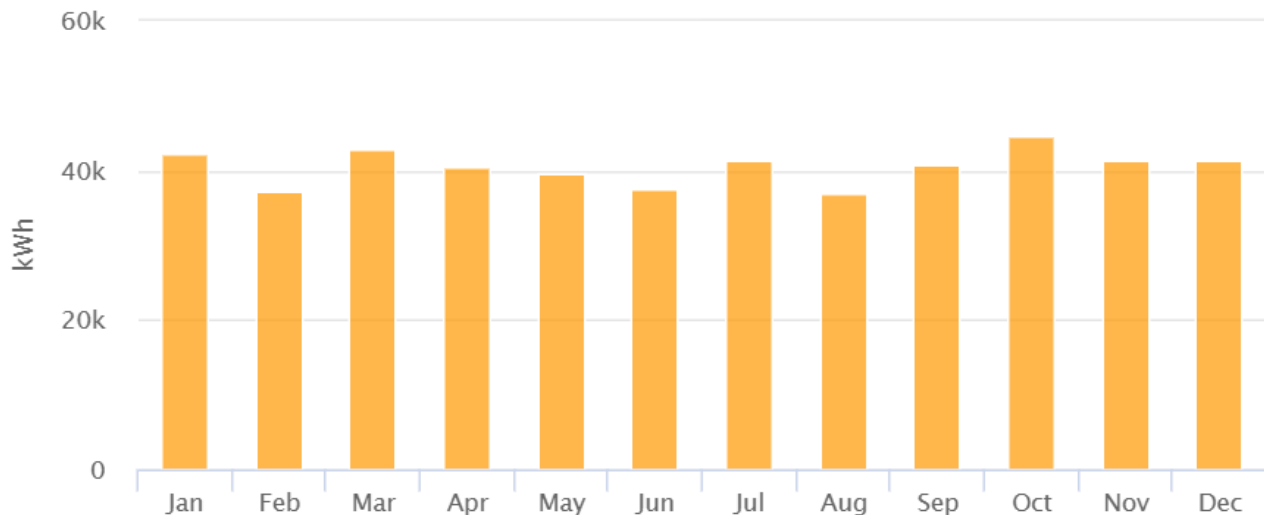
Metodologi simulasi ini mengombinasikan perangkat lunak canggih, data meteorologi akurat, serta teknik analisis detail untuk menghasilkan evaluasi menyeluruh terhadap kebutuhan PLTS rooftop di Gedung Teknik Kampus 4 UNG. Pendekatan ini menjamin keandalan hasil simulasi sekaligus mendukung keputusan implementasi sistem energi surya sebagai langkah nyata menuju kampus hijau dan keberlanjutan.

Hasil simulasi tahunan sistem PLTS rooftop Gedung Teknik Kampus 4 UNG diperoleh berdasarkan analisis data radiasi matahari (*Global Horizontal Irradiance* atau GHI), intensitas pada bidang panel (*Plane of Array* atau POA), serta energi yang mengalami kehilangan akibat naungan (*Shaded*). Nilai produksi energi dihitung dalam dua bentuk: kapasitas terpasang teoretis (*Nameplate*) dan energi bersih yang masuk ke jaringan listrik (*Grid*). Data bulanan ini menggambarkan variasi intensitas radiasi dan kinerja sistem sepanjang tahun. Terlihat adanya fluktuasi sesuai musim, di mana bulan dengan radiasi lebih tinggi (seperti Oktober dan Maret) menghasilkan energi yang lebih besar, sedangkan bulan dengan radiasi lebih rendah (seperti Februari dan Juni) cenderung menghasilkan energi lebih sedikit.

TABEL V
PRODUKSI ENERGI TAHUNAN PLTS ROOFTOP GEDUNG TEKNIK UNG

Month	GHI (kWh/m ²)	POA (kWh/m ²)	Shaded (kWh/m ²)	Nameplate (kWh)	Grid (kWh)
January	139.5	147.2	145.8	51,988.0	42,131.6
February	126.0	129.8	128.7	45,895.2	37,252.7
March	149.2	149.1	147.9	52,645.9	42,868.8
April	145.3	140.8	139.7	49,131.1	40,394.8
May	147.9	139.3	138.4	48,091.6	39,594.7
June	143.2	132.5	131.7	45,207.4	37,519.3
July	157.5	146.6	145.7	50,131.7	41,297.9
August	139.0	132.7	131.7	44,865.4	37,026.8
September	151.1	149.2	148.1	50,066.5	40,747.2
October	153.5	156.8	155.5	55,469.2	44,750.7

Month	GHI (kWh/m ²)	POA (kWh/m ²)	Shaded (kWh/m ²)	Nameplate (kWh)	Grid (kWh)
November	139.7	147.0	145.7	51,566.4	41,433.4
December	138.8	147.3	146.0	51,031.0	41,455.1
Annual	1,680.7	1,688.5	1,684.9	595,079.4	486,502.9



Gbr. 7 Produksi Tahunan

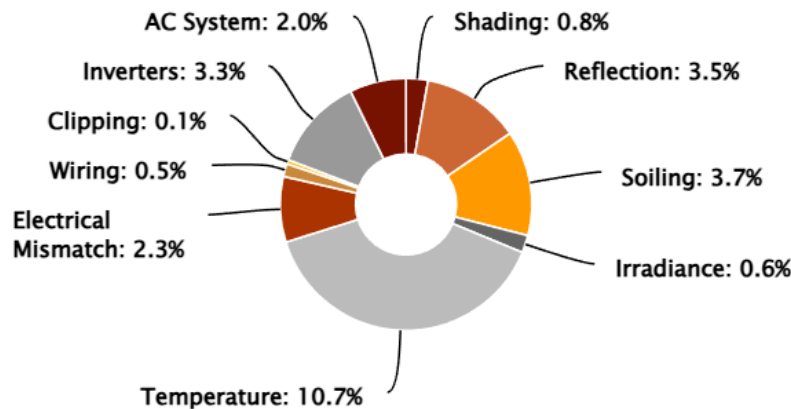
Gambar di atas menunjukkan distribusi produksi energi listrik (*Grid kWh*) dari sistem PLTS rooftop Gedung Teknik Kampus 4 UNG sepanjang tahun. Terlihat bahwa produksi energi bervariasi antar bulan, dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari dan kondisi cuaca musiman di wilayah Gorontalo.

Bulan dengan intensitas tertinggi adalah **Oktober** dengan produksi mencapai lebih dari **44.000 kWh**, sedangkan bulan dengan produksi terendah adalah **Februari** dan **Agustus**, masing-masing sekitar **37.000 kWh**. Variasi ini mencerminkan pengaruh faktor iklim lokal seperti tutupan awan dan distribusi radiasi tahunan.

Secara umum, produksi energi relatif stabil dengan rata-rata sekitar 40.000 kWh per bulan, menghasilkan total tahunan sebesar 486,5 MWh. Jika dibandingkan dengan estimasi kebutuhan listrik Gedung Fakultas Teknik UNG yang berkisar ±600–650 MWh per tahun, maka kontribusi PLTS rooftop ini dapat menutupi sekitar 75–80% kebutuhan energi tahunan fakultas. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu mengurangi ketergantungan pada pasokan listrik dari PLN dan mendukung target efisiensi energi di lingkungan kampus.

Dari sisi system losses, hasil simulasi menunjukkan nilai total sekitar 26–27%, dengan faktor terbesar berasal dari suhu modul (15,4%). Nilai ini masih dalam kisaran wajar untuk sistem PV di daerah tropis. Beberapa studi serupa di Asia Tenggara, misalnya di Malaysia dan Thailand, melaporkan kehilangan energi akibat suhu berkisar 12–18%, dengan total losses mendekati 25–30% dari kapasitas teoretis. Artinya, performa PLTS rooftop di Gedung Teknik UNG konsisten dengan tren penelitian di wilayah beriklim panas dan lembap. Kehilangan lain seperti soiling dan refleksi juga serupa dengan beberapa studi sebelumnya dimana soiling tahunan diperkirakan sekitar 3-5% untuk lokasi tropis [14], atau studi review yang menemukan bahwa dampak debu dan partikel udara pada modul PV biasanya menyebabkan kehilangan beberapa persen dari produksi tahunan [13].

Dengan demikian, hasil simulasi tidak hanya memberikan gambaran kuantitatif kapasitas dan produksi energi, tetapi juga menunjukkan bahwa sistem PV di UNG memiliki kinerja yang dapat dibandingkan dengan proyek serupa di kawasan tropis. Analisis ini menegaskan pentingnya strategi mitigasi suhu dan pembersihan panel secara rutin untuk menjaga performa sistem tetap optimal. Upaya pengendalian temperatur, pemeliharaan kebersihan modul, serta pemilihan peralatan dengan efisiensi tinggi dapat menjadi langkah penting dalam meminimalkan kerugian energi dan meningkatkan kinerja PLTS rooftop.



Gbr. 8 Sumber Kerugian Sistem

IV. KESIMPULAN

Simulasi menggunakan HelioScope menunjukkan bahwa Gedung Teknik Kampus 4 Universitas Negeri Gorontalo (UNG) memiliki potensi energi surya yang signifikan, dengan kapasitas terpasang sebesar 368,79 kWp yang didukung oleh 647 panel surya dan 99 unit inverter. Sistem ini diproyeksikan menghasilkan energi listrik tahunan sebesar 486,5 MWh. Analisis kehilangan energi mengidentifikasi faktor kritis, antara lain dampak suhu (15,4%), mismatch modul (1,9%), dan efisiensi inverter (1,8%), yang menjadi dasar penting untuk strategi optimalisasi di masa mendatang.

Kontribusi utama penelitian ini terletak pada penyediaan peta teknis potensi PLTS atap di lingkungan kampus tropis, yang dapat menjadi rujukan dalam perencanaan energi berkelanjutan. Dari sisi kebijakan, hasil penelitian ini mendukung inisiatif Kampus Hijau UNG dengan memberikan dasar kuantitatif untuk kebijakan pengurangan emisi karbon dan integrasi energi terbarukan ke dalam sistem kelistrikan kampus. Selain itu, pendekatan ini dapat direplikasi oleh perguruan tinggi lain di Indonesia, terutama di kawasan timur yang memiliki potensi radiasi surya tinggi namun keterbatasan akses energi fosil. Replikasi ini akan memperkuat kontribusi sektor pendidikan tinggi dalam mendukung target nasional net zero emission.

Rekomendasi teknis yang dapat dipertimbangkan meliputi penggunaan modul surya dengan lapisan anti-reflektif untuk mengurangi kehilangan akibat refleksi, penerapan strategi pendinginan pasif melalui peningkatan sirkulasi udara di bawah modul untuk menekan kehilangan akibat suhu, serta evaluasi biaya-manfaat terhadap opsi inverter dengan efisiensi lebih tinggi. Langkah-langkah ini akan memperkuat ketahanan energi kampus, meningkatkan efisiensi sistem, dan mempercepat transisi menuju praktik energi berkelanjutan.

V. PENUTUP

Implementasi sistem PLTS atap berkapasitas 368,79 kWp di Gedung Teknik Kampus 4 UNG ini telah berhasil dirancang dengan optimal dan diproyeksikan menghasilkan 486,5 MWh per tahun, sehingga dapat menjadi model percontohan untuk pengembangan energi terbarukan di perguruan tinggi serta mendukung percepatan pencapaian target kampus hijau dan transisi energi nasional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada FORTEI (Forum Teknik Elektro Indonesia) dan Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, serta Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo atas dukungan, fasilitas, serta bimbingan yang diberikan selama penyusunan laporan/tugas akhir/penelitian ini. Semoga kolaborasi dan kontribusi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di Indonesia.

REFERENSI

- [1] R. Rafli, J. Ilham, S. Salim. “Perencanaan dan Studi Kelayakan PLTS Rooftop pada Gedung Fakultas Teknik UNG.” *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 4, no. 1, 2022, pp. 8–15.
- [2] S. Salim, A.I. Tolago, M.R.P. Syafi'i. “Analisis Intensitas Konsumsi Energi Listrik untuk Penghematan Listrik di Fakultas Teknik UNG.” *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, vol. 11, no. 1, 2022.
- [3] A.G. Djafar, Y. Mohamad. “Method to Assess the Potential of Photovoltaic Panel Based on Roof Design.” *International Journal of Applied Power Engineering*, vol. 11, no. 3, 2022, pp. 186–198.
- [4] Y. Mohamad, S. Salim, et al. “Mapping of Lamtoro Field in Supporting the Co-Firing of Steam Power Plants Program.” *International Journal of Applied Power Engineering*, vol. 12, no. 1, 2023, pp. 37–48.
- [5] I. Hidayat, A. Mahdali, M. Afandy. “Analisis Perbandingan Inverter Satu Fasa PWM dan SPWM dengan Trafo.” *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 4, no. 1, 2022, pp. 27–32.
- [6] I. Hidayat, F.A. Samman, R.S. Sadjad. “Single-Phase DC-AC Inverter with Transformer and Transformerless and Low Power Dissipation Filter for Photovoltaic-Based Home-Scale Electric Power System.” *2019 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)*, 2019.
- [7] I. Hidayat. “Optimizing Rooftop Solar Panel Deployment: A GIS-Based Analysis at KFUPM.” *MUSTEK ANIM HA*, vol. 13, no. 03, 2024, pp. 79–86.
- [8] M. Sarlin, I. Hidayat, M.Y. Arafat, C. Cuga. “Self-Study Platform (SSP) Based Solar Cell As A Solution In Improving The Learning Quality In Outermost, In Frontier and Under Develop Area.” *International Conference on Elementary Education*, vol. 5, no. 1, 2023, pp. 763–772.
- [9] Nugraha, S. dan Rahman, D. (2020). Pemanfaatan PVsyst untuk Simulasi Potensi Energi Surya pada Bangunan Pendidikan. *Prosiding Seminar Nasional Energi*.
- [10] Perez, M.J. et al. (2019). HelioScope: A Simulation Tool for PV System Design and Optimization. *Solar Energy Journal*, 186, 325–334.
- [11] I. Amu, Y. Mohamad, A.I. Tolago. “Kajian Kelayakan Operasi Pecah Beban Penyulang Beta (SI-2) untuk Kehandalan Sistem Kelistrikan Kota Bitung.” *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 1, no. 1, 2020, pp. 19–24.
- [12] Salim, S., Tolago, A. I., & Nasibu, I. Z. (2025). A hybrid power plant with the synchronization controller system for saving electrical energy use (Research study at the campus of the State University of Gorontalo). *Intellectual Journal of Energy Harvesting and Storage*, 3(1), 1–12.
- [13] Borah, P., & kawan-kawan. (2023). Analysis of Soiling Loss in Photovoltaic Modules: A Review of the Impact of Atmospheric Parameters, Soil Properties and Mitigation Approaches. *Sustainability*, 15(24), 16669. <https://doi.org/10.3390/su152416669>
- [14] IEA-PVPS Task 13. (2022). Soiling Losses - Impact on the Performance of Photovoltaic Power Plants [Report]. IEA Photovoltaic Power Systems Programme.