

Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hibrid pada Gedung Rusunawa Kecamatan Telaga Gorontalo

Yasin Mohamad^{a*}, Rahmad Hidayat Dongka^b, Lanto Mohamad Kamil Amali^c

^{a,b,c}Departemen Teknik Elektro, Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received October 13, 2025

Received in revised form

November 13, 2025

Accepted November 20, 2025

Available online November 29, 2025

Keywords:

PLTS

Rusunawa

Energi

Hibrid

Efisiensi

ABSTRACT

The use of renewable energy, especially solar energy, is increasingly growing as an easily accessible, environmentally friendly solution in tropical regions such as Indonesia, including Gorontalo Province. Solar Power Generation Technology provides an alternative source of clean and pollution-free power that can be operated locally. The purpose of this study is to see the potential of a hybrid PLTS that combines solar power, the PLN electricity network to create an efficient and reliable electricity system in the Rusunawa environment of Telaga District. This system is expected to reduce electricity consumption from PLN and maximize the use of renewable energy. Based on the results of modeling using HelioScope, Rusunawa buildings in Telaga District can be installed with 258 REC Solar REC 280 TP modules (280 Wp per module) with a maximum capacity of 72.24 kWp. This system is also equipped with 258 Enphase M250 microinverters (240 V), with a total capacity of 61.92 kW. The simulation results show relatively consistent energy production throughout the year, ranging from 8,000–10,000 kWh per month, with the highest achievement in January at 10,214 kWh and the lowest in June at 7,926 kWh, this shows the potential for PLTS to be quite large.

1 Pendahuluan

Pertumbuhan penduduk, meningkatnya kebutuhan ekonomi, serta ekspansi pembangunan infrastruktur menyebabkan permintaan energi listrik terus naik dari tahun ke tahun. Rumah Susun Sederhana Sewa (Rusunawa) merupakan salah satu bentuk hunian vertikal yang banyak dibangun untuk kelompok masyarakat berpenghasilan rendah. Namun demikian, tingkat konsumsi listrik pada hunian ini cukup tinggi sehingga berdampak pada peningkatan biaya operasional dan ketergantungan pada pasokan energi dari PLN. Pengelola Rusunawa kerap menghadapi besarnya tagihan listrik bulanan serta ketidakstabilan pasokan saat terjadi pemadaman. Kondisi tersebut menuntut tersedianya solusi penyediaan energi yang lebih efisien, ekonomis, dan berkelanjutan.[1].

Permasalahan utama yang dihadapi pengelola Rusunawa adalah besarnya tagihan listrik bulanan akibat ketergantungan penuh pada pasokan dari Perusahaan Listrik Negara (PLN). Kondisi ini akan semakin terasa apabila terjadi pemadaman listrik atau kenaikan tarif, di mana penghuni langsung terdampak secara finansial dan kenyamanan. Oleh karena itu, dibutuhkan terobosan yang tidak hanya menekankan aspek efisiensi teknis, tetapi juga mengutamakan kelayakan ekonomis dan keberlanjutan. [2]

Energi surya menjadi pilihan strategis karena Indonesia memiliki intensitas cahaya matahari yang melimpah sepanjang tahun. PLTS mampu menghasilkan energi bersih, tetapi kinerjanya dipengaruhi oleh cuaca dan waktu. Untuk mengatasi keterbatasan ini, sistem PLTS hibrid yang memadukan daya surya dan jaringan PLN menjadi pendekatan yang ideal. Melalui sistem ini, beban listrik dapat dipasok secara otomatis dari sumber yang paling tersedia—PLTS pada siang hari dan PLN saat energi surya tidak mencukupi. Selain memberikan kontinuitas energi, implementasi PLTS hibrid juga berpotensi meningkatkan kesadaran penghuni terhadap pentingnya penghematan energi serta penggunaan energi terbarukan.

Salah satu inovasi yang kini berkembang adalah pemanfaatan energi terbarukan, khususnya tenaga surya yang dikenal ramah lingkungan dan tersedia melimpah di kawasan tropis seperti Indonesia, terutama di Gorontalo. Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menawarkan sumber energi bersih tanpa

emisi yang dapat diakses secara lokal. Namun, PLTS konvensional masih memiliki keterbatasan produksi pada malam hari atau saat cuaca kurang baik akibat ketergantungan pada cahaya matahari. Untuk mengatasi hal tersebut, sistem hibrid yang memadukan energi surya dengan aliran listrik PLN didesain agar kedua sumber energi dapat saling melengkapi. Ketika energi matahari tidak mencukupi, suplai listrik otomatis dialihkan dari jaringan PLN sehingga kontinuitas pasokan tetap terjamin tanpa mengalami gangguan. [3] [4].

Selain manfaat teknis dan ekonomi, penerapan PLTS hibrid di Rusunawa juga dapat menjadi sarana edukasi untuk meningkatkan kesadaran penghuni akan pentingnya hemat energi serta pemanfaatan energi terbarukan. Hal ini diharapkan mendorong perubahan sikap dalam konsumsi listrik yang lebih bertanggung jawab dan ramah lingkungan. Dengan latar tersebut, kegiatan penelitian dan perancangan sistem PLTS hibrid untuk Rusunawa menjadi sangat relevan serta strategis, dimana desain yang dihasilkan diharapkan dapat menghadirkan hunian yang hemat energi, ramah lingkungan, dan berkelanjutan bagi masyarakat perkotaan [5] [6].

Dengan demikian, perancangan PLTS hibrid untuk Rusunawa menjadi relevan sekaligus strategis, baik dari aspek teknis, ekonomi, maupun lingkungan. Diharapkan, sistem yang dikembangkan mampu menghasilkan lingkungan hunian yang efisien energi, hemat biaya, serta ramah lingkungan bagi masyarakat perkotaan

2 Studi Literatur

1. Konsep Dasar Energi

Energi merupakan kebutuhan fundamental dalam mendukung aktivitas masyarakat modern. Hampir seluruh kegiatan rumah tangga, perkantoran, dan industri bergantung pada ketersediaan listrik. Seiring peningkatan jumlah penduduk dan pembangunan infrastruktur, konsumsi energi di Indonesia terus mengalami kenaikan signifikan setiap tahunnya. Data Kementerian ESDM menunjukkan bahwa sektor rumah tangga adalah salah satu pengguna energi listrik terbesar, sehingga efisiensi energi menjadi aspek penting untuk mengurangi beban nasional.

Efisiensi energi sendiri merujuk pada cara menggunakan energi secara optimal tanpa mengorbankan kenyamanan maupun fungsi utama penggunaannya. Dengan menerapkan efisiensi energi, biaya operasional bisa ditekan dan tekanan pada sistem penyediaan listrik nasional pun berkurang. Salah satu strategi yang efektif untuk mencapai efisiensi ini adalah memanfaatkan energi terbarukan, misalnya tenaga surya, yang dapat diintegrasikan dengan sumber listrik konvensional (PLN) melalui konsep pembangkit listrik hybrid. Pendekatan ini menjadi sangat relevan terutama untuk bangunan bertingkat seperti rumah susun sederhana sewa (Rusunawa), yang kebutuhan energinya tergolong tinggi dan memiliki potensi luas atap yang dapat digunakan untuk pemasangan sistem panel surya. [7].

2. Prinsip Dasar Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Parafrasa Prinsip Dasar PLTS Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah sistem yang memanfaatkan radiasi matahari untuk menghasilkan listrik melalui panel surya berbasis sel fotovoltaik. Proses konversi energi ini berlangsung berdasarkan prinsip fotovoltaik, di mana cahaya matahari yang diterima oleh bahan semikonduktor (seperti silikon) menyebabkan pergerakan elektron dan menghasilkan arus listrik searah (DC).

Secara umum, PLTS terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu:

1. Panel Surya (Solar Panel): Berfungsi sebagai penangkap energi matahari dan mengubahnya menjadi arus listrik DC.
2. Solar Charge Controller Mengatur proses pengisian daya pada baterai agar tetap stabil dan mencegah kondisi overcharge.
3. Inverter – Mengkonversi arus DC dari panel surya menjadi arus AC sehingga dapat digunakan oleh peralatan listrik rumah tangga.
4. Baterai (Battery Bank) – Menyimpan energi listrik dari panel surya untuk digunakan saat intensitas cahaya matahari rendah atau pada malam hari.
5. Sistem Proteksi dan Monitoring – Memastikan keamanan sistem serta menjaga efisiensi operasional PLTS selama beroperasi.

3. Sistem Hibrid (Solar + PLN)

Sistem pembangkit listrik hybrid adalah sistem yang mengintegrasikan dua atau lebih sumber energi listrik, dalam hal ini antara Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan jaringan listrik PLN. Tujuan utama dari penerapan sistem hybrid adalah untuk meningkatkan keandalan pasokan energi serta efisiensi dalam pemanfaatan daya. Dalam sistem ini, panel surya berperan sebagai sumber utama pada siang hari, sedangkan jaringan PLN berfungsi sebagai cadangan ketika pasokan energi dari matahari tidak mencukupi atau saat beban listrik meningkat secara signifikan [8].

Prinsip kerja sistem hybrid dapat dijelaskan sebagai berikut: ketika intensitas cahaya matahari tinggi, panel surya akan menghasilkan energi listrik untuk memenuhi kebutuhan beban di Rusunawa. Jika produksi listrik dari panel melebihi kebutuhan, kelebihan energi tersebut dapat disimpan dalam baterai. Sebaliknya, pada malam hari atau saat cuaca mendung, sistem secara otomatis beralih ke pasokan energi dari baterai atau jaringan PLN. Sistem pengendali (controller) akan mengatur perpindahan sumber daya ini agar proses berjalan secara otomatis dan efisien [9].

Keuntungan dari sistem hybrid antara lain:

- a) Kontinuitas pasokan listrik lebih terjamin, karena sumber energi tidak hanya bergantung pada matahari.
- b) Efisiensi energi meningkat, karena prioritas konsumsi berasal dari sumber energi terbarukan.

- c) Biaya operasional berkurang, karena pemakaian energi PLN dapat ditekan. Namun, tantangan utama sistem ini adalah kebutuhan investasi awal yang cukup tinggi serta kebutuhan pengendalian dan pemeliharaan sistem yang baik agar kinerja tetap optimal.

4. Sistem Penyimpanan Energi (Energy Storage System)

Komponen utama dalam sistem PLTS hybrid adalah sistem penyimpanan energi, yang berfungsi menampung surplus energi listrik dari panel surya agar dapat digunakan di waktu lain, seperti saat intensitas cahaya rendah atau malam hari. Media penyimpanan yang paling umum digunakan adalah baterai, dengan berbagai jenis dan karakteristik tersendiri. Jenis baterai yang lazim diterapkan pada sistem PLTS meliputi:

1. *Lead-Acid Battery*, Baterai ini banyak dipilih karena harganya terjangkau dan mudah didapatkan, meskipun masa pakainya relatif lebih pendek dibanding jenis lainnya..
2. *Gel Battery*, Memiliki ketahanan lebih baik terhadap siklus pengisian dan pelepasan daya, sehingga lebih awet untuk penggunaan jangka panjang.
3. *Lithium-Ion Battery*, Menawarkan efisiensi tinggi, umur pakai yang lebih lama, serta bobot yang lebih ringan, tetapi harganya lebih mahal dibandingkan baterai konvensional.

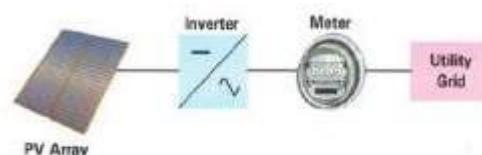
Sistem penyimpanan energi sangat penting untuk menjaga kestabilan pasokan daya serta meningkatkan efisiensi pada sistem hybrid. Baterai memungkinkan energi surplus yang dihasilkan panel surya di siang hari disimpan dan digunakan pada malam hari, sehingga ketergantungan terhadap PLN dapat dikurangi. Dalam perancangan sistem hybrid, kapasitas baterai perlu ditentukan secara akurat berdasarkan kebutuhan energi harian, durasi waktu cadangan yang diinginkan, serta efisiensi pengisian dan pelepasan daya.

5. Sistem Pemasangan Panel Surya

Dalam bidang teknologi tenaga surya, dikenal tiga jenis sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), yaitu PLTS off-grid, PLTS on-grid, dan PLTS hybrid yang terintegrasi dengan teknologi lain. Klasifikasi tersebut ditentukan berdasarkan cara penyimpanan energi dan ketersediaan infrastruktur jaringan distribusi [10].

5.1 Sistem On-Grid

Sistem On-Grid Sistem on-grid memanfaatkan panel surya untuk menghasilkan listrik secara ramah lingkungan, tanpa emisi, serta efisien dari segi biaya. Sistem ini terhubung langsung dengan jaringan listrik PLN, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pemanfaatan sinar matahari melalui panel surya bertujuan untuk mengoptimalkan produksi energi listrik. Apabila energi yang dihasilkan melebihi kebutuhan, surplus listrik akan dialirkan kembali ke jaringan PLN. Namun, apabila terjadi pemadaman oleh PLN, sistem ini tidak dapat berfungsi sebagai sumber cadangan karena tidak dilengkapi baterai dan sangat bergantung pada jaringan listrik utama.

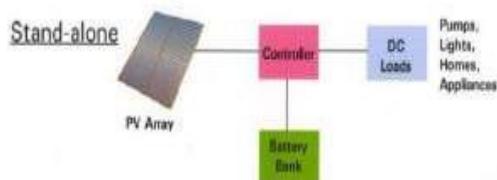


Gambar 1. PLTS Grid Connection

5.2 Sistem Off-Grid

Sistem Off-Grid, atau juga dikenal sebagai sistem PV mandiri, memanfaatkan energi matahari secara langsung melalui modul fotovoltaik tanpa ketergantungan pada jaringan listrik PLN. Berbeda dengan sistem On-Grid, sistem ini menyimpan energi yang dihasilkan ke dalam baterai, sehingga dapat beroperasi secara independen tanpa terpengaruh oleh pemadaman listrik dari PLN.

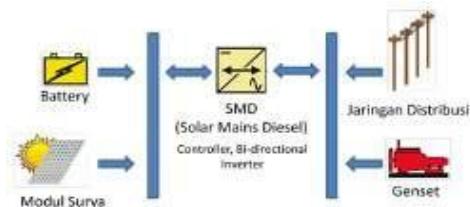
Keunggulan utama sistem Off-Grid adalah kestabilan pasokan listrik, menjadikannya pilihan ideal untuk wilayah atau industri yang belum terjangkau oleh jaringan PLN.



Gambar 2. PLTS Off Grid

5.3 Sistem Hybrid

Sistem hybrid merupakan integrasi dari dua atau lebih jenis pembangkit listrik dengan sumber energi yang beragam, bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan pasokan listrik. Pendekatan ini memanfaatkan kelebihan masing-masing sumber energi agar sistem dapat bekerja secara optimal, baik dari segi keandalan maupun efisiensi ekonomi. Contoh penerapan sistem hybrid antara lain kombinasi PLTS-Genset, PLTS-Mikrohidro, dan PLTS-Tenaga Angin, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Di Indonesia, banyak aplikasi sistem hybrid yang menggabungkan beberapa teknologi pembangkit tersebut, dengan PLTS-Genset menjadi pilihan utama, khususnya pada sistem genset mandiri yang tidak terhubung ke jaringan listrik..



Gambar 3. PLTS Hibrid

Dalam konteks Indonesia, manfaat sistem tenaga surya tipe Off Grid belum sepenuhnya dipahami oleh masyarakat luas. Berbagai keunggulan sistem ini dibandingkan dengan sumber listrik konvensional antara lain:

1. Energi Terbarukan dari Matahari

Matahari dianggap sebagai sumber energi bersih yang paling potensial untuk masa depan. Ketersediaannya sangat melimpah dan tidak akan habis, berbeda dengan bahan bakar fosil yang bersifat terbatas. Indonesia, sebagai negara tropis dengan intensitas sinar matahari yang tinggi, sangat cocok untuk memanfaatkan energi surya, terutama di daerah yang belum terjangkau oleh jaringan listrik konvensional..

2. Berdampak Positif bagi Lingkungan

Panel surya beroperasi tanpa menghasilkan emisi karbon, sehingga sangat baik bagi lingkungan. Sebagai contoh, sistem tenaga surya dengan kapasitas 15.000 Watt-peak mampu menekan emisi CO₂ hingga 18 ton per tahun. Selain itu, operasionalnya tidak menimbulkan polusi suara maupun gangguan visual..

3. Ekonomis dan Efisien

Meskipun investasi awal terlihat besar, sumber energi utama (sinar matahari) tidak berbiaya, sehingga biaya operasional jangka panjang menjadi lebih rendah. Investasi awal biasanya dapat kembali dalam waktu 5 hingga 8 tahun. Instalasi panel surya juga relatif cepat dan sederhana, hanya memerlukan waktu sekitar satu minggu, serta dapat dipasang di berbagai lokasi..

4. Keandalan Energi

Dengan sinar matahari yang konsisten sepanjang tahun, energi surya menjadi sumber daya yang andal. Kehandalan ini sangat penting, terutama bagi kebutuhan industri yang memerlukan pasokan listrik stabil dan tidak terputus..

6. Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Indonesia

Berdasarkan data resmi dari Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi (EBTKE) Kementerian ESDM, pada tahun 2022 tercatat realisasi kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) mencapai 271,6 megawatt (MW). Angka ini masih jauh dari target yang ditetapkan sebesar 893,3 MW, menunjukkan adanya ketertinggalan signifikan. Dibandingkan tahun sebelumnya (2021) yang berada di angka 204,7 MW, terjadi peningkatan sebesar 66,9 MW dalam satu tahun. Dalam jangka panjang, Kementerian ESDM menargetkan pencapaian kapasitas terpasang PLTS atop sebesar 3.600 MW pada tahun 2025, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pembangkit energi Terbarukan Terpasang di Indonesia tahun 2023

Saat ini, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) sedang mengkaji revisi terhadap Peraturan Menteri ESDM Nomor 26 Tahun 2021. Fokus utama revisi ini adalah sistem PLTS Atap yang terhubung ke jaringan tenaga listrik Pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk Kepentingan Umum (IUPTLU). Tujuan revisi adalah mempercepat penerapan PLTS atop sekaligus membuka peluang lebih luas bagi masyarakat untuk memasang sistem tersebut. Meskipun Indonesia memiliki keunggulan geografis sebagai negara tropis dengan intensitas sinar matahari yang konsisten sepanjang tahun, pengembangan PLTS masih menghadapi berbagai tantangan. Untuk mewujudkan potensi tersebut, diperlukan kerja sama dan dukungan penuh dari seluruh pemangku kepentingan.

Beberapa kendala utama dalam pengembangan PLTS di Indonesia antara lain kurangnya pemahaman masyarakat tentang manfaat jangka panjang dari investasi PLTS, biaya awal yang relatif tinggi, serta keterbatasan infrastruktur dan teknologi pendukung. Oleh karena itu, kolaborasi antara pemerintah, dunia usaha, dan masyarakat sangat penting untuk mengatasi hambatan-hambatan tersebut.

Untuk mengurangi beban biaya awal, pemerintah dapat memberikan insentif fiskal atau subsidi bagi individu maupun pelaku usaha yang ingin mengadopsi PLTS. Kampanye edukasi juga perlu dilakukan agar masyarakat semakin menyadari manfaat energi surya, baik dari segi ekonomi maupun kontribusinya terhadap mitigasi perubahan iklim. Revisi regulasi ESDM merupakan langkah positif untuk mempermudah akses dan adopsi PLTS, namun perlu diiringi dengan peningkatan kapasitas infrastruktur, khususnya jaringan listrik dan fasilitas penyimpanan energi, agar energi surya dapat dimanfaatkan secara optimal.

Kerja sama dengan lembaga penelitian dan perguruan tinggi

juga sangat penting untuk mendorong inovasi teknologi PLTS, seperti peningkatan efisiensi panel surya, penurunan biaya produksi, dan pengembangan metode penyimpanan energi yang lebih baik. Dengan pendekatan yang terpadu dan dukungan dari semua sektor, Indonesia dapat memanfaatkan potensi energi surya secara maksimal dan turut serta dalam transisi energi global menuju sumber energi yang lebih berkelanjutan.

3 Metodologi

Penelitian ini diawali dengan proses identifikasi kebutuhan energi listrik pada Rusunawa sebagai dasar perancangan sistem PLTS hibrid. Data konsumsi energi harian dan bulanan dikumpulkan untuk mengetahui profil beban listrik secara komprehensif, termasuk beban puncak, beban rata-rata, serta distribusi penggunaan energi penghuni. Informasi tersebut menjadi landasan dalam menentukan kapasitas PLTS yang sesuai dengan kebutuhan.

Selanjutnya dilakukan kajian kelayakan teknis terhadap potensi radiasi matahari di lokasi penelitian. Analisis mencakup intensitas energi surya, luas area atap untuk pemasangan panel, orientasi bangunan, sudut kemiringan panel, dan kemungkinan shading. Simulasi sistem PLTS hibrid dilakukan menggunakan perangkat lunak HelioScope, yang memodelkan performa sistem berdasarkan kondisi aktual lapangan.[11] [12].

Tahapan penelitian dilanjutkan dengan evaluasi hasil simulasi, terutama terkait efisiensi energi, potensi penghematan biaya listrik, serta estimasi penurunan emisi karbon. Pertimbangan seperti biaya investasi awal, potensi pengembangan, dan peluang replikasi sistem pada hunian sejenis juga dikaji untuk menghasilkan rekomendasi yang strategis.

Secara umum, tahapan yang dilakukan meliputi:

1. Studi Pendahuluan dan Identifikasi Masalah Tahap awal mencakup studi pustaka dan observasi lapangan untuk memahami:
 - a. Pola konsumsi listrik penghuni Rusunawa.
 - b. Potensi energi surya di lokasi (berdasarkan data iradiasi harian).
 - c. Sistem kelistrikan yang ada dan tantangan efisiensi energinya.
2. Pengumpulan dan Analisis Data Data dikumpulkan melalui survei dan pengukuran langsung, mencakup:
 - a. Beban listrik harian dan bulanan (dari kWh meter penghuni).
 - b. Data cuaca dan iradiasi matahari dari BMKG atau aplikasi global (SolarGIS, PVGIS).
 - c. Kondisi fisik lokasi, seperti luas atap, orientasi bangunan, dan potensi shading.
 - d. Informasi tarif listrik PLN dan kebijakan net metering (jika berlaku).
3. Perancangan Sistem PLTS Hybrid Berdasarkan data kebutuhan energi dan potensi surya, sistem dirancang dengan mempertimbangkan:
 - a. Kapasitas PLTS yang optimal.
 - b. Kapasitas baterai yang memadai untuk suplai saat malam atau cuaca mendung.
 - c. Pemilihan inverter dan kontroler yang sesuai.
 - d. Integrasi dengan PLN, baik on-grid maupun hybrid dengan backup baterai.
4. Analisis Teknis dan Ekonomis
 - a. Teknis: Efisiensi energi, rasio kontribusi PLTS terhadap total beban, serta durasi suplai energi non-PLN.

- b. Ekonomis: Biaya investasi, biaya operasional, penghematan tagihan listrik, dan masa pengembalian investasi (payback period).

4 Pembahasan

4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini, dirancang sistem PLTS hybrid yang menggabungkan energi surya On Grid dengan jaringan listrik PLN. Pemilihan sistem hybrid didasarkan pada pertimbangan teknis, di mana energi surya menjadi sumber utama pada siang hari untuk membantu pemenuhan kebutuhan listrik dari PLN. Dengan pelaksanaan penelitian di Rusunawa Kecamatan Telaga, diharapkan dapat diperoleh rancangan sistem yang tidak hanya memenuhi kriteria teknis, tetapi juga memberikan manfaat dari segi ekonomi dan lingkungan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan sistem energi terbarukan di kawasan permukiman serta mendukung kebijakan pemerintah dalam mewujudkan penyediaan energi yang berkelanjutan, efisien, dan ramah lingkungan [13].



Gambar 5. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Rumah Susun Sederhana Sewa (Rusunawa) Kecamatan Telaga, yang difungsikan sebagai hunian vertikal bagi masyarakat dengan kapasitas hunian yang besar. Bangunan Rusunawa ini terdiri dari 3 lantai dan memiliki 50 unit kamar, di mana rata-rata setiap unit ditempati oleh 3–4 penghuni. Secara umum, kebutuhan listrik di Rusunawa Telaga dipenuhi melalui jaringan PLN dengan daya terpasang 100 kVA, dengan rincian daya untuk masing-masing kamar sebesar 1300 VA, gang setiap lantai 6600 VA, pompa air 6600 VA, dan taman 1300 VA.

Hasil pengukuran awal menunjukkan bahwa rata-rata konsumsi listrik per kamar untuk pembelian token berkisar antara Rp120.000 hingga Rp300.000. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan energi listrik di Rusunawa tergolong tinggi, sehingga sangat berpotensi untuk dioptimalkan melalui penerapan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) hibrid yang dilengkapi sistem penyimpanan energi. Penerapan sistem ini diharapkan dapat mengurangi ketergantungan terhadap PLN dan meningkatkan efisiensi energi di lingkungan Rusunawa.

4.2 Analisis Kebutuhan Energi Listrik

Tujuan analisis kebutuhan energi adalah untuk mengetahui total konsumsi listrik harian dan bulanan di Rusunawa Kecamatan Telaga, mengidentifikasi pola beban harian, serta mengukur potensi penghematan energi yang dapat dicapai dengan penerapan sistem PLTS hibrid [14] [15].

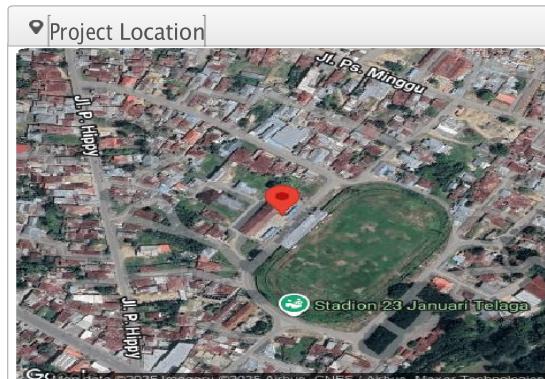
Tabel 1. Analisis Kebutuhan Energi Listrik Rusunawa Telaga

Parameter	Nilai Asumsi	Keterangan
Jumlah unit hunian	50 unit	Berdasarkan data rusunawa telaga
Rata-rata penghuni /unit	4 orang	Keluarga kecil menengah
Konsumsi listrik perunit	5 sd 6 kWh/hari	Berdasarkan data rusunawa telaga
Lokasi	Rusunawa kecamatan telaga kab. Gorontalo	Koordinat $\pm 0.53^\circ$ LU, 123.06° BT
Intensitas radiasi matahari	4,8 kWh/m ² / hari	Data rata rata gorontalo
Efisiensi sistem PLTS total	75 – 80 %	Termasuk inverter,kabel dan losses

Kebutuhan energi harian total = 50 unit x 5,5 kWh = 275 kWh/hari. Kebutuhan energi bulanan = 275 x 30 = 8.250 kWh/bulan. Estimasi kapasitas PLTS dengan target kontribusi PLTS sebesar 60 % maka energi yang di supply PLTS adalah $0,6 \times 275 = 165$ kWh/hari sehingga kapasitas PLTS adalah : $165 : (4,8 \times 0,75) = 45,8$ kWp maka perlukan sistem PLTS sekitar 46 kWp

4.3 Desain Sistem PLTS

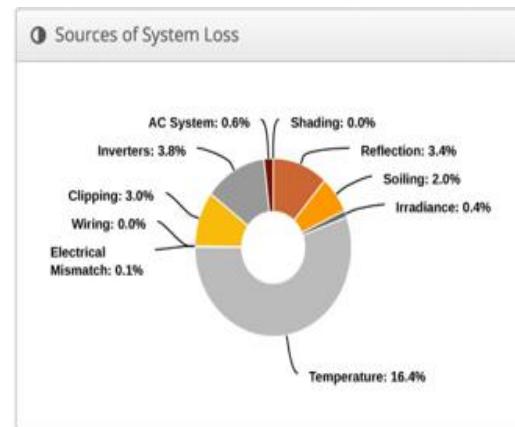
Hasil simulasi yang dilakukan menggunakan perangkat lunak HelioScope memperlihatkan bahwa atap gedung Rusunawa mampu menampung sebanyak 258 modul REC Solar tipe REC 280 TP, masing-masing dengan kapasitas 280 Wp. Total kapasitas panel surya yang terpasang mencapai 72,24 kWp. Sistem ini didukung oleh 258 unit mikroinverter Enphase M250 dengan tegangan 240 V, yang memiliki kapasitas keseluruhan sebesar 61,92 kW.



Gambar 6. Atap Gedung Rusunawa Kec. Telaga

Simulasi juga mengungkap sejumlah sumber kehilangan energi (system losses) dalam sistem PLTS. Kerugian terbesar berasal dari efek suhu yang mencapai 16,4%, di mana kenaikan temperatur modul menyebabkan penurunan efisiensi konversi energi. Selain itu, pantulan cahaya menyumbang rugi sekitar 3,4%, dan kerugian pada inverter mencapai 3,8%. Faktor lain seperti mismatch antar modul, penumpukan debu di permukaan panel, distribusi radiasi yang tidak merata, serta clipping loss juga turut berkontribusi pada penurunan produksi energi, seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Upaya mitigasi yang dapat dilakukan antara lain meningkatkan ventilasi modul agar suhu tetap terkendali, rutin membersihkan panel, serta memastikan

desain kelistrikan memenuhi standar untuk meminimalkan rugi-rugi distribus.

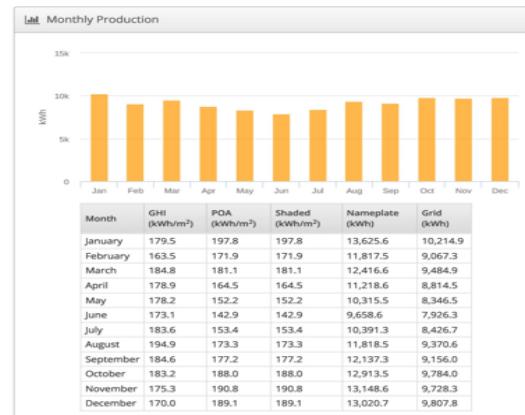


Gambar 7. Analisis Sumber Kehilangan Sistem

4.4 Analisis Produksi Energi Bulanan

Berdasarkan hasil simulasi, sistem PLTS mampu menghasilkan energi dengan ketebalan yang cukup baik sepanjang tahun. Rata-rata produksi energi berkisar antara 8.000 hingga 10.000 kWh per bulan. Produksi tertinggi tercatat pada bulan Januari dengan angka 10.214 kWh, sementara produksi terendah terjadi di bulan Juni, yaitu sekitar 7.926 kWh. Fluktuasi ini dipengaruhi oleh perubahan musiman pada intensitas radiasi matahari dan kondisi cuaca setempat.

Meskipun terdapat variasi antarbulan, rentang perbedaan tidak terlalu besar, menunjukkan bahwa potensi energi surya di lokasi penelitian relatif stabil. Secara umum, sistem PLTS yang dirancang mampu memberikan kontribusi energi secara konsisten, sehingga menjadi solusi yang efektif untuk mengurangi ketergantungan terhadap konsumsi listrik dari PLN



Gambar 8. Grafik Produksi Energi Bulanan

5. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi pemanfaatan energi surya sebagai pembangkit listrik alternatif sangat besar dengan kapasitas maksimum 72,24 kWp, dengan menggunakan 258 modul REC Solar REC 280 TP (280 Wp permodul). Sementara produksi energi relatif konsisten sepanjang tahun berkisar 8.000-10.000 kWh perbulan.

Kontribusi Penulis

Dalam penelitian ini, saya terlibat secara langsung mulai dari persiapan proposal, survei awal lokasi, pengambilan data lapangan, wawancara langsung dengan penghuni rusunawa,

analisis data serta penyusunan laporan penelitian serta penyusunan artikel yang merupakan luaran hasil penelitian.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan apresiasi yang sebesar-besarnya kepada Dinas Perumahan dan Kawasan Permukiman (PERKIM) Kabupaten Gorontalo selaku mitra penelitian yang telah memberikan dukungan serta fasilitas selama proses pelaksanaan studi ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM-UNG) atas bantuan pendanaan dan dukungan administratif yang memungkinkan penelitian ini terlaksana dengan baik.

Referensi

- [1] Chedid RB & Akiki H A, Optimal sizing of hybrid PV-wind power systems *IEEE Transactions on Energy Conversion*; 16(1); 78–84. <https://doi.org/10.1109/60.911394> ; 2001.
- [2] GIZ Indonesia, *Panduan Teknis Desain Sistem PLTS Skala Rumah Tangga di Indonesia*; Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH; 2014.
- [3] Kementerian ESDM RI , *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia* Jakarta ; Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral; 2021.
- [4] Kementerian PUPR. (2020). *Petunjuk Teknis Pengelolaan Rumah Susun Sewa (Rusunawa)*. Direktorat Jenderal Penyediaan Perumahan.
- [5] NREL (National Renewable Energy Laboratory), (2 HOMER Pro Software: Hybrid Renewable Energy Modeling. Retrieved from <https://www.homerenergy.com/> ; 2020.
- [6] Shukla AK, Sudhakar K & Baredar P, Design simulation and economic analysis of standalone roof top solar PV system in India. *Solar Energy* ; 136 ; 437–449. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.07.009> ; 2016.
- [7] Sopian K & Othman MY H, Hybrid solar photovoltaic and battery storage systems: Technology review and economic perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*; 135, 110223. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110223> ; 2020
- [8] Surya M R & Riyadi A M , Analisis Potensi PLTS Hibrid untuk Perumahan Vertikal di Perkotaan; *Jurnal Energi dan Lingkungan*; 18(2); 99–107; 2022
- [9] Widodo TS & Putra IK, Studi Kelayakan Teknis dan Ekonomis PLTS On-Grid dan Off-Grid pada Perumahan Menengah; *Jurnal Rekayasa Elektrika*; 15(3); 121–130 ; 2019.
- [10] Rosnita R, dkk . Fullbook Panduan Lengkap Pembangkit Listrik Tenaga Surya. 2023.
- [11] Djafar AG & Mohamad Y, Method to assess the potential of photovoltaic panel based on roof design, International journal of applied power engineering; 11(3); 186-198; 2022.
- [12] Djafar AG & Mohamad Y, The application potential of net zero energy building using rooftop photovoltaics case study of apartments in gorontalo province ; 14 (3); 743-751; 2025.
- [13] Amali LMK, Mohamad Y, dkk, Analisis konsumsi energi listrik menggunakan metode intensitas konsumsi energi; *Jambura journal of electrical and electronics engineering*; 6(1); 103-107; 2024
- [14] Hassan, Q. A review of hybrid renewable energy systems; solar and wind powered solutions challenges. Opportunities, and policy implications, 2023
- [15] Hartopo, I. & Rosyadi,A.Y. Desain sistem PLTS Hibrid dengan pemodelan Homer Pro dan PVsys di desa Semang,NTT, Indonesia, 2024