

SKRIPSI

**PERENCANAAN PLTS *ON GRID* ATAP PADA VILLA THE PEJALIN
ECO RETREAT DI BANJAR AUMAN DESA PELAGA KECAMATAN
PETANG KABUPATEN BADUNG-BALI**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh :

I Made Suardika

NIM. 2315374011

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI BALI
2024**

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit listrik tenaga surya PLTS merupakan sebuah sistem mengubah energi matahari menjadi energi listrik melalui prinsip efek photovoltaic. PLTS merupakan sumber energi yang ramah lingkungan. Penggunaan PLTS sejalan dengan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) untuk periode 2021 – 2030, yang mencakup program 35 GW untuk meningkatkan kecukupan tenaga listrik dan kebijakan pengembangan Energi Baru Terbarukan (EBT).

Villa The Pejalina Eco Retreat adalah sebuah villa yang menyediakan layanan penyewaan villa pribadi dan restoran dengan 5 kamar tidur serta pemandangan alam yang masih alami. Kondisi cuaca di villa ini mendukung pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) karena area tersebut tidak memiliki banyak pepohonan tinggi, sehingga memungkinkan pemasangan panel surya. Pada penelitian ini menggunakan dasar hukum permen No 02 tahun 2024, yang menghapus batasan kapasitas pemasangan PLTS Atap berdasarkan persentase dari daya terpasang PLN seperti sebelumnya. Saat ini, kebutuhan energi listrik di Bali masih bergantung pada sumber energi fosil, seperti Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan mesin diesel berbahan bakar high speed diesel (HSD) atau solar. Contohnya adalah PLTD Pesanggaran dengan daya 299 WM dan PLTD Kutampi di Pulau Nusa Penida dengan daya 10 WM. Ketergantungan pada energi fosil dapat menimbulkan masalah, termasuk ketersediaan bahan bakar fosil dan emisi karbon dioksida (CO₂) yang tinggi dari proses pembakaran PLTD, serta emisi nitrogen oksida (NO_x) dan sulfur dioksida (SO₂) yang berkontribusi pada polusi udara dan hujan asam. Oleh karena itu, diperlukan energi hijau. Green energi atau energi hijau adalah energi yang dihasilkan dari sumber-sumber yang ramah lingkungan. Saat ini, Villa The Pejalina Eco Retreat masih menggunakan listrik dari PLN, yang sebagian bersumber dari PLTD. Tagihan listrik bulanan PLN dihitung berdasarkan jumlah energi yang dikonsumsi, dengan rata-rata konsumsi bulanan sekitar 1.600 kWh atau Rp 2.719.248 per bulan, dengan jumlah tamu mencapai 450 orang per bulan, yang bisa mendapatkan Listrik dengan Beban Puncak (LWBP).

dan WBP sekitar 50 kwh / hari, dengan data tersebut konsumsi energi yang bersumber dari PLN cukup besar. Sehingga timbul permasalahan yaitu akan hasil dari proses kerja PLTD yang menimbulkan polusi udara dan hujan asam, maka pentingnya akan green energi dimana berkelanjutan dengan komitmen dari manajemen akan kesadaran sebuah green energi dan sekaligus mendukung pemerintah untuk pengembangan Energi Baru Terbarukan. Kapasitas daya listrik PLN yang terpasang sebesar 10.600 VA dengan golongan R-3/TR dengan nominal Rp.1.699,53 / kwh untuk menyalakan peralatan yang ada pada villa. Luas bangunan pada villa the pejalin eco adalah 1,2 ha.

Oleh karena itu, dalam laporan ini, penulis mengusulkan judul 'Perencanaan PLTS On-Grid Atap di Villa The Pejalin Eco Retreat di Banjar Auman, Desa Pelaga, Kecamatan Petang, Kabupaten Badung-Bali.' Laporan ini bertujuan untuk menjelaskan cara merancang sistem energi surya di Villa The Pejalin Eco Retreat melalui ide-ide yang diuraikan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka permasalahan yang dapat dirumuskan dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimanakah rancangan PLTS *On Grid* untuk Villa The Pejalin Eco Retreat Di Banjar Auman Desa Pelaga Kecamatan Petang Kabupaten Badung-Bali?
2. Berapakah kapasitas pembangkitan energy PLTS atap *On Grid* di Villa The Pejalin Eco Retreat ?
3. Bagaimanakah analisis ekonomis perancangan PLTS atap untuk Villa The Pejalin Eco Retreat Di Banjar Auman Desa Pelaga Kecamatan Petang Kabupaten Badung-Bali?

1.3 Batasan Masalah

Batasan dalam "Perencanaan PLTS Atap On-Grid di Villa The Pejalin Eco Retreat, Banjar Auman, Desa Pelaga, Kecamatan Petang, Kabupaten Badung-Bali" ini adalah sebagai berikut:

1. Laporan ini hanya mencakup tahap perencanaan, tanpa implementasi fisik.
2. Perencanaan PLTS menggunakan sistem PLTS atap, dengan luas atap yang menghadap ke utara dan barat seluas 200 m².
3. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak PVsyst dengan sistem PLTS On-Grid

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian latar belakang dan rumusan masalah di atas, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui rancangan PLTS On-Grid untuk Villa The Pejalina Eco Retreat di Banjar Auman, Desa Pelaga, Kecamatan Petang, Kabupaten Badung, Bali.
2. Mengetahui kapasitas pembangkitan energi dari PLTS atap On-Grid menggunakan aplikasi PVsyst.
3. Menganalisis kelayakan ekonomi dari perancangan PLTS atap untuk Villa The Pejalina Eco Retreat di Banjar Auman, Desa Pelaga, Kecamatan Petang, Kabupaten Badung, Bali.

1.5 Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat baik secara akademis maupun aplikatif, yaitu:

1. Sebagai referensi untuk menambah wawasan dan pengetahuan mengenai aspek teknis serta ekonomi pemasangan PLTS atap, khususnya di Villa The Pejalina Eco Retreat di Banjar Auman, Desa Pelaga, Kecamatan Petang, Kabupaten Badung, Bali.
2. Menjadi acuan untuk penelitian-penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan perancangan PLTS atap pada properti villa.
3. Memberikan dampak positif bagi masyarakat sekitar terkait perencanaan dan penerapan PLTS atap di lingkungan Villa The Pejalina Eco Retreat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Studi literatur dilakukan dengan membaca dan mencari referensi yang berkaitan dengan topik penelitian yang sedang diangkat oleh peneliti. Materi bacaan yang ditinjau dari beberapa jurnal dan sumber akademis yang relevan dengan topik penelitian. Berikut ini merupakan beberapa penelitian terkait dengan topik penelitian yang diangkat yang membahas mengenai aspek pengembangan dan Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya.

Penelitian dengan judul "Perancangan PLTS Atap On-Grid System pada Kantor Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Penelitian dan Pengembangan Kota Probolinggo" yang dilakukan oleh Allan Ardiansyah, I Nyoman Setiawan, dan I Wayan Sukerayasa dari Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, bertujuan untuk menentukan kapasitas PLTS yang tepat agar dapat mengoptimalkan penghematan tagihan listrik.

Penelitian ini mengambil lokasi di Kantor BAPPEDA LITBANG Kota Probolinggo dan melibatkan dua skenario perancangan PLTS. Skenario 1 memiliki kapasitas sesuai dengan kebutuhan energi kantor, yaitu 21,6 kWp, sementara Skenario 2 memiliki kapasitas yang lebih besar dari kebutuhan, yaitu 32,4 kWp. Berdasarkan analisis kelayakan investasi menggunakan metode NPV (Net Present Value), PI (Profitability Index), dan DPP (Discounted Payback Period), kedua skenario ini layak dijalankan.

Investasi yang diperlukan untuk PLTS Skenario 1 adalah sebesar Rp 267.000.000, dengan keuntungan penghematan tagihan listrik selama 30 tahun sebesar Rp 406.863.069 atau 152% dari total investasi. Skenario 2 membutuhkan investasi sebesar Rp 395.850.000, dengan penghematan tagihan sebesar Rp 595.619.904 atau 150% dari total investasi.

Dalam Skenario 1, kapasitas PLTS disesuaikan dengan kebutuhan energi kantor untuk mencegah ekspor energi ke jaringan PLN saat kantor beroperasi. Energi puncak yang dikonsumsi adalah 21 kWh, sehingga daya output inverter yang dipilih adalah 20 kW. Untuk simulasi menggunakan PVsyst, kapasitas daya puncak modul surya harus lebih besar dari daya inverter. Dengan pengoptimalan slot string pada MPPT inverter, kapasitas modul surya yang digunakan adalah 450 Wp.

Pada Skenario 1, PLTS menggunakan 48 modul surya dengan total kapasitas 21,6 kWp sesuai rekomendasi dari PVsyst. Modul-modul tersebut diatur dalam konfigurasi seri-paralel untuk memaksimalkan efisiensi sistem. Gambar single line diagram menampilkan konfigurasi sistem yang menghubungkan modul surya, inverter, dan jaringan listrik, memastikan sistem beroperasi secara optimal sesuai kebutuhan energi kantor. Konfigurasi ini juga dirancang untuk mencegah ekspor energi berlebih ke jaringan PLN saat kantor beroperasi.[3]

Penelitian berjudul "Perancangan PLTS On-Grid Sebagai Sistem Catu Daya Kawasan Jatiluwih" yang dilakukan oleh Dimas, I Nyoman Satya Kumara, dan I Wayan Sukerayasa dari Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, bertujuan untuk mendukung Kawasan Jatiluwih sebagai kawasan hijau dan lestari. Penelitian ini merancang PLTS atap On-Grid sebagai sumber daya listrik di kawasan tersebut.

Penelitian bertujuan untuk mengetahui kapasitas PLTS atap dan produksi energi yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan energi di Kawasan WBD Jatiluwih. Berdasarkan survei, terdapat 45 bangunan di kawasan ini yang mendukung aktivitas pariwisata, dengan total kebutuhan energi sebesar 225,37 kWh per hari. Dari 45 bangunan, lima bangunan dipilih untuk pemasangan PLTS atap berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan.

Perancangan PLTS atap menggunakan dua skenario: skenario berdasarkan kebutuhan beban dan skenario berdasarkan luas atap. Hasilnya, kapasitas PLTS atap untuk kebutuhan beban adalah 2,05 kWp di Dukuh Baturan Villa, Warung Dhea, dan Bhuana Agung Restaurant; 2,46 kWp di Restoran Iga Lawar; dan 1,2 kWp di Teras Subak Homestay. Sementara itu, berdasarkan luas atap, kapasitasnya adalah 9,8 kWp di Dukuh Baturan Villa, 23,4 kWp di Teras Subak Homestay, 10,6 kWp di Warung Dhea, 16 kWp di Restoran Iga Lawar, dan 6,5 kWp di Bhuana Agung Restaurant.

Dengan menggunakan skenario luas atap, sistem PLTS atap di kelima bangunan tersebut dapat menghasilkan energi sebesar 270,35 kWh per hari, yang cukup untuk memenuhi kebutuhan energi di 45 bangunan. Berdasarkan skenario pemakaian beban, PLTS atap di Dukuh Baturan Villa dapat memenuhi 36,20% dari kebutuhan listriknya, Teras Subak Homestay memenuhi 34,20%, dan Warung Dhea memenuhi 27,80% kebutuhan listrik. Pada Restoran Iga Lawar, sistem PLTS atap dapat memenuhi 27,30% kebutuhan listrik, sedangkan di Bhuana Agung Restaurant, sistem PLTS atap mampu memenuhi 30,90% kebutuhan listrik. Total kebutuhan energi di kawasan Jatiluwih sebesar 225,37 kWh per hari dapat dipenuhi oleh sistem PLTS atap yang dipasang di

kelima bangunan tersebut menggunakan skenario luas atap. Total energi yang dihasilkan dari sistem PLTS ini cukup untuk mencukupi kebutuhan energi harian di kawasan tersebut yang diproduksi per hari yaitu 270,35 kWh.[1]

Penelitian berjudul "Potensi Pemanfaatan Atap Tribun Stadion Kapten I Wayan Dipta Gianyar sebagai PLTS Rooftop" yang dilakukan oleh Gallant Pradika, Ida Ayu Dwi Giriantari, dan I Nyoman Setiawan bertujuan untuk memanfaatkan atap stadion Kapten Dipta sebagai sumber energi surya. Penelitian ini mencakup dua skenario perancangan: Skenario 1: Kapasitas 83.300 Wp dengan 238 modul surya dan 2 inverter, menghasilkan 112.321 kWh per tahun. Sistem ini dapat menyuplai beban siang dari trafo 2 dan 3 stadion sebesar 35.470 kWh per tahun, dengan sisa energi sebesar 76,85 MWh per tahun. Skenario 2: Kapasitas 156.800 Wp dengan 448 modul surya dan 4 inverter, menghasilkan 211.458 kWh per tahun. Sistem ini dapat menyuplai beban siang dari trafo 1 stadion sebesar 100.919 kWh per tahun. Pada skenario 1, modul surya dipasang di sisi utara atap stadion, sementara pada skenario 2, modul surya dipasang di kedua sisi atap. Perhitungan energi dilakukan secara manual dan dengan simulasi menggunakan software PVsyst, menunjukkan energi tahunan sebesar 112,32 MWh untuk skenario 1 dan 211,46 MWh untuk skenario 2. Sistem PLTS ini tidak menggunakan baterai penyimpanan energi, sehingga hanya dapat menyuplai beban saat stadion digunakan pada siang hari. Pada skenario 1, PLTS hanya menyuplai beban dari trafo 2 dan 3, sedangkan pada skenario 2, PLTS menyuplai beban dari trafo 1. Pada skenario 2, sistem PLTS dapat sepenuhnya menyuplai beban trafo 1 dan menghasilkan sisa energi sebesar 110,54 MWh per tahun yang akan disalurkan ke jaringan PLN. Analisis ekonomi menunjukkan bahwa biaya investasi untuk skenario 1 adalah Rp 1.178.760.000, sedangkan untuk skenario 2 adalah Rp 2.237.860.000. Berdasarkan perhitungan manual dengan harga penjualan energi sebesar Rp 953/kWh, pemasukan pada tahun ke-25 adalah Rp 1.090.635.084 untuk skenario 1 dan Rp 3.126.761.273 untuk skenario 2. Analisis kelayakan investasi menggunakan metode NPV (Net Present Value), PI (Profitability Index), dan DPP (Discounted Payback Period) menunjukkan bahwa hanya skenario 2 yang dianggap layak, karena pada tahun ke-25 pendapatan melebihi biaya investasi. Sebaliknya, pada skenario 1, pendapatan hanya setara dengan investasi pada tahun ke-29, sehingga skenario 1 dianggap tidak layak karena memiliki DPP yang lebih lama dibandingkan dengan umur proyek.

Penelitian berjudul "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti" yang dilakukan oleh S.G., Ramadhan, dan Ch. Rangkuti dari Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti, bertujuan untuk merancang PLTS dengan memanfaatkan atap Gedung Harry Hartanto sebagai lokasi pemasangan. Perancangan dilakukan dengan mengidentifikasi

layout atap gedung, kemudian membuat desain ideal dengan spesifikasi peralatan yang tersedia di pasaran. Hasil perancangan menunjukkan bahwa dari total area 855 m², digunakan 312 panel surya berkapasitas 300 WP dan 5 inverter masing-masing berkapasitas 20 kW. Sistem PLTS ini dapat menghasilkan daya sebesar 131.232,1 kWh per tahun. Investasi awal yang dibutuhkan adalah Rp 2.869.777.544, dengan biaya pemeliharaan tahunan sebesar Rp 28.697.775. Berdasarkan perhitungan ROI, Pay Back Period diperkirakan mencapai 8 tahun 5 bulan, dan nilai NPV dari investasi tersebut adalah positif. Dengan estimasi umur pemakaian panel surya mencapai 25 tahun, rancangan ini diperkirakan akan memberikan pendapatan yang baik di masa depan.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Energi Surya

Energi surya atau tenaga surya merujuk pada energi yang berasal dari sinar dan panas matahari. Energi ini dapat dimanfaatkan melalui berbagai teknologi seperti pemanas surya, fotovoltaik surya, listrik panas surya, arsitektur surya, dan fotosintesis buatan. Teknologi energi surya umumnya dibagi menjadi dua kategori: teknologi pemanfaatan pasif dan teknologi pemanfaatan aktif. Kategori ini bergantung pada cara penyerapan, perubahan, dan penyaluran energi surya.

Contoh pemanfaatan aktif dari energi surya termasuk penggunaan panel fotovoltaik dan panel penyerap panas. Sementara itu, pemanfaatan pasif meliputi pengaturan arah bangunan terhadap matahari, memilih bangunan dengan massa termal atau kemampuan penyebaran cahaya yang baik, dan merancang ruangan dengan sirkulasi udara alami.

Menurut Badan Energi Internasional pada tahun 2011, "kemajuan dalam teknologi energi surya yang terjangkau, tidak habis, dan bersih akan memberikan manfaat jangka panjang yang signifikan. Perkembangan ini dapat meningkatkan keamanan energi negara-negara dengan memanfaatkan sumber energi yang tersedia, tidak habis, dan tidak tergantung pada impor. Selain itu, ini akan meningkatkan keberlanjutan, mengurangi polusi, menurunkan biaya mitigasi perubahan iklim, dan menjaga harga bahan bakar fosil tetap rendah. Keuntungan ini bersifat global. Oleh karena itu, biaya insentif tambahan untuk pengembangan awal harus dianggap sebagai investasi dalam pembelajaran; investasi ini perlu digunakan dengan bijaksana dan dibagi secara adil."

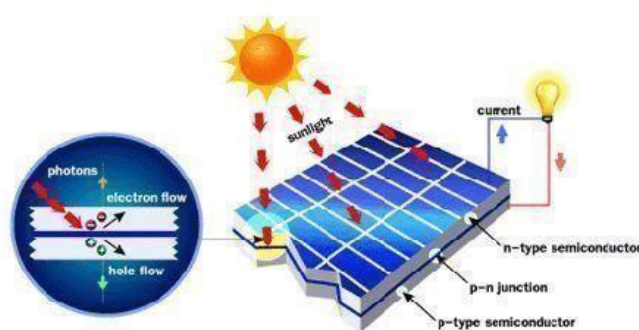
2.2.2 Potensi Energi Surya di Indonesia

Indonesia, yang terletak di garis khatulistiwa, memiliki sumber energi surya yang melimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4.8 kWh/m² per hari di seluruh wilayahnya. Meskipun sumber energi surya ini melimpah, pemanfaatannya belum optimal. Sementara itu, banyak daerah di Indonesia yang belum terjangkau oleh jaringan listrik PLN. Dalam konteks ini, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), yang memiliki sistem modular dan mudah dipindahkan, menjadi salah satu solusi alternatif yang layak dipertimbangkan untuk memenuhi kebutuhan listrik di daerah-daerah tersebut.

2.2.3 Cara Pemanfaatan Energi Surya

Sel surya adalah komponen elektronik yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik dalam bentuk arus searah (DC). Ketika sinar matahari mengenai panel surya, elektron dalam pita valensi akan terangkat ke pita konduksi. Jika sel surya dihubungkan ke sirkuit luar, pergerakan elektron akan menghasilkan arus listrik dalam bentuk DC.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berfungsi dengan menerima cahaya foton dari matahari, yang kemudian diserap oleh sel surya. Sel surya mengubah energi foton menjadi energi listrik. Proses konversi cahaya matahari menjadi listrik ini dimungkinkan karena sel surya terbuat dari bahan semikonduktor. Sel surya terdiri dari dua lapisan semikonduktor dengan muatan yang berbeda: lapisan atas bermuatan negatif dan lapisan bawah bermuatan positif.



Gambar 2. 1 Ilustrasi proses terjadinya listrik pada sel surya.[7]

Silikon adalah bahan semikonduktor yang paling sering digunakan dalam sel surya. Ketika permukaan sel surya terkena cahaya, pasangan elektron dan hole terbentuk. Elektron yang dihasilkan akan meninggalkan sel surya dan mengalir melalui rangkaian luar, menghasilkan arus listrik. Arus listrik yang dihasilkan dapat digunakan secara langsung atau disimpan dalam baterai untuk pemanfaatan di kemudian hari.

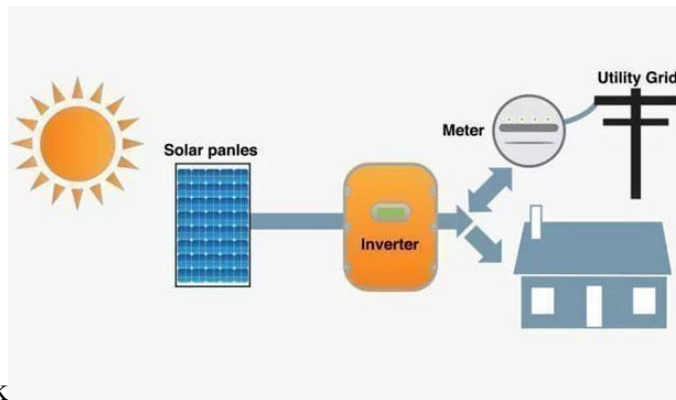
Jumlah pasangan elektron dan hole yang dihasilkan, atau besarnya arus yang dihasilkan, dipengaruhi oleh intensitas dan panjang gelombang cahaya yang jatuh pada sel surya. Intensitas cahaya menentukan jumlah foton yang mengenai sel surya; semakin tinggi intensitas cahaya, semakin banyak foton yang tersedia, sehingga lebih banyak pasangan elektron dan hole yang terbentuk dan arus yang dihasilkan semakin besar. Selain itu, panjang gelombang cahaya juga memengaruhi energi foton; semakin pendek panjang gelombangnya, semakin tinggi energi foton, yang menyebabkan energi elektron meningkat dan arus yang mengalir juga meningkat.

2.2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah sistem yang memanfaatkan sinar matahari melalui sel surya (fotovoltaik) untuk mengubah radiasi sinar matahari menjadi energi listrik. Sel surya terdiri dari lapisan-lapisan tipis bahan semikonduktor, seperti silikon (Si) murni dan bahan semikonduktor lainnya. PLTS menghasilkan listrik DC dari sinar matahari, yang bisa diubah menjadi listrik AC jika diperlukan. Meskipun cuaca mendung, PLTS tetap dapat menghasilkan listrik selama masih ada cahaya matahari.

PLTS dapat dirancang untuk memenuhi kebutuhan listrik dari yang kecil hingga besar, baik secara mandiri maupun dalam kombinasi dengan sumber energi lain. Sistem PLTS dapat dibagi menjadi dua kategori utama: sistem yang tidak terhubung dengan jaringan listrik (off-grid PV plant), juga dikenal sebagai PLTS berdiri sendiri (standalone), dan sistem yang terhubung dengan jaringan listrik (grid-connected PV plant), atau PLTS On-Grid. Jika PLTS digabungkan dengan pembangkit listrik lain, sistem tersebut disebut PLTS Off-Grid

PLTS Off-Grid adalah sistem pembangkit listrik tenaga surya yang tidak terhubung dengan jaringan listrik. Sistem ini berdiri sendiri, sering disebut sebagai sistem mandiri atau stand-alone. Biasanya, PLTS Off-Grid dipasang dengan pola tersebar (distributed) dan memiliki kapasitas pembangkitan kecil. Sistem ini umumnya dilengkapi dengan penyimpanan energi menggunakan baterai, yang diharapkan dapat menyediakan listrik saat cuaca mendung atau malam hari. Berdasarkan aplikasinya, PLTS Off-Grid dibagi menjadi dua jenis: PLTS Off-Grid domestik dan PLTS Off-Grid



non-domestik

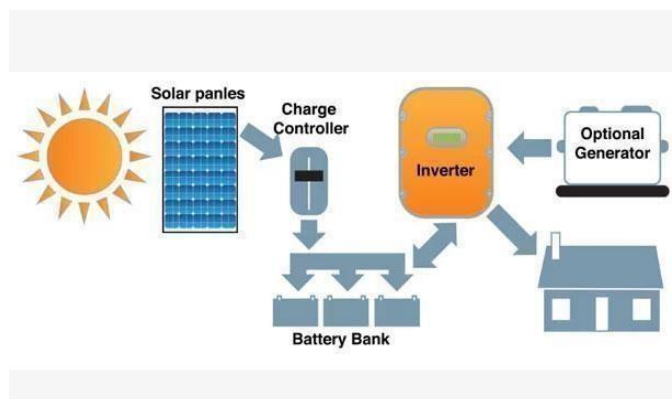
Gambar 2.2 Skema PLTS *Off-grid PV System with Storage*. [8]

1. PLTS On-Grid (*Grid-Connected PV Plant*)

PLTS On-Grid adalah sistem pembangkit listrik tenaga surya yang terhubung dengan jaringan listrik. Berdasarkan pola operasinya dalam penyaluran tenaga listrik, sistem ini terbagi menjadi dua jenis:

Sistem Penyimpanan (Storage) atau Grid-Connected PV with a battery back-up: Sistem ini menggunakan baterai sebagai cadangan penyimpanan tenaga listrik. Baterai berfungsi untuk menyediakan listrik ketika jaringan atau grid mengalami kegagalan dan juga menyuplai listrik ke jaringan jika ada kelebihan daya yang dihasilkan oleh PLTS.

Sistem Tanpa Baterai atau Grid-Connected PV without a battery back-up: Sistem ini tidak menggunakan baterai, sehingga semua daya yang dihasilkan disuplai langsung ke jaringan listrik tanpa ada penyimpanan. Berdasarkan aplikasinya, PLTS On-Grid terbagi menjadi dua jenis Grid-Connected Distributed PV: Sistem ini terdistribusi, dengan pemasangan panel surya pada beberapa lokasi yang berbeda. Grid-Connected Centralized PV: Sistem ini terpusat, dengan pemasangan panel surya di satu lokasi yang besar.



Gambar 2.3 Skema Konfigurasi PLTS Off – Grid [8]

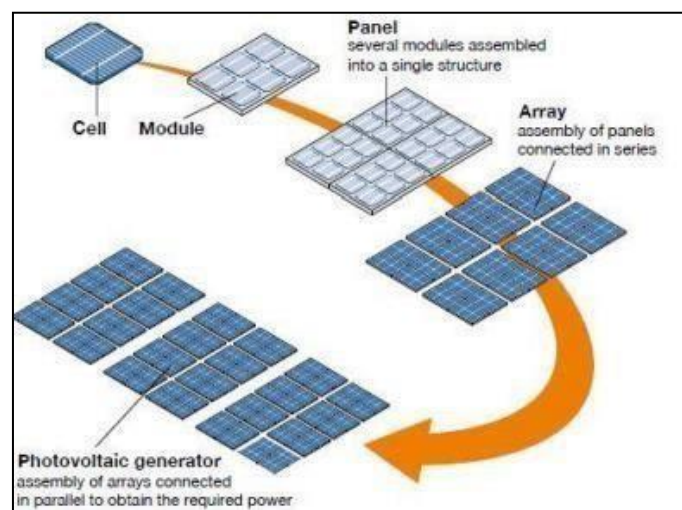
2.2.5 Komponen Utama PLTS

2.2.5.1 Modul Surya

Sel surya terdiri dari dua lapisan semikonduktor dengan muatan yang berbeda: lapisan atas bermuatan negatif dan lapisan bawah bermuatan positif. Silikon adalah bahan semikonduktor yang paling umum digunakan dalam sel surya. Ketika cahaya mengenai permukaan sel surya, pasangan elektron dan hole terbentuk. Elektron yang terbentuk akan bergerak keluar dari sel surya dan mengalir melalui rangkaian eksternal, menghasilkan arus listrik. Arus listrik ini dapat digunakan langsung atau disimpan dalam baterai untuk penggunaan di masa mendatang.

Jumlah pasangan elektron dan hole yang terbentuk, serta besarnya arus yang dihasilkan, bergantung pada intensitas dan panjang gelombang cahaya yang mengenai sel surya. Intensitas cahaya mempengaruhi jumlah foton yang masuk ke sel surya; semakin tinggi intensitas cahaya, semakin banyak foton yang dihasilkan, dan semakin banyak pasangan elektron dan hole yang terbentuk, menghasilkan arus yang lebih besar. Selain itu, panjang gelombang cahaya juga berperan; semakin pendek panjang gelombangnya, semakin tinggi energi foton, yang berarti energi elektron yang dihasilkan lebih besar, dan arus yang mengalir juga lebih tinggi.

Modul surya (fotovoltaik) adalah sekumpulan sel surya yang dirangkai secara seri dan paralel untuk meningkatkan tegangan dan arus, sehingga memenuhi kebutuhan sistem catu daya. Untuk menghasilkan energi listrik maksimum, permukaan modul surya harus selalu menghadap ke arah matahari.



Gambar 2.3 Hubungan Sel Surya, PV Modul dan Array[8]

Komponen utama dalam sistem surya fotovoltaik adalah modul, yang merupakan rakitan dari beberapa sel surya fotovoltaik. Modul fotovoltaik dapat diproduksi menggunakan dua teknologi utama: kristal dan film tipis (thin film). Modul kristal dibuat dengan teknologi yang relatif sederhana, sementara pembuatan sel fotovoltaik film tipis memerlukan teknologi yang lebih canggih. Modul fotovoltaik terdiri dari beberapa sel yang dihubungkan secara seri dan paralel. Berdasarkan jenis dan struktur atom penyusunnya, sel surya dibagi menjadi tiga jenis: monokristal, polikristal, dan film tipis.

1. Monokristal (Mono-Crystalline)

Modul monokristal adalah yang paling efisien, dihasilkan menggunakan teknologi yang terbaru dengan daya listrik per unit area tertinggi. Panel ini dirancang untuk aplikasi yang memerlukan konsumsi listrik besar, terutama di lokasi dengan iklim ekstrem dan kondisi lingkungan yang berat. Efisiensi panel monokristal dapat mencapai hingga 15%. Namun, kelemahan dari panel jenis ini adalah performanya yang menurun secara signifikan di tempat dengan cahaya matahari terbatas atau saat cuaca mendung.



Gambar 2.4 *Monocrystalline Silicon Module*[9]

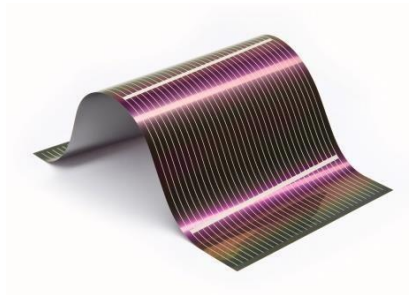
Panel polikristal memiliki struktur kristal yang acak karena diproduksi melalui proses pengecoran. Jenis panel ini memerlukan area yang lebih luas dibandingkan dengan panel monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang setara. Meskipun efisiensinya lebih rendah dibandingkan dengan panel monokristal, panel polikristal biasanya lebih ekonomis dalam hal harga.



Gambar 2.5 *Polycrystalline Silicon Module*[9]

1) Thin Film Photovoltaic

Berikut merupakan gambar panel surya dengan jenis thin film photovoltaic.



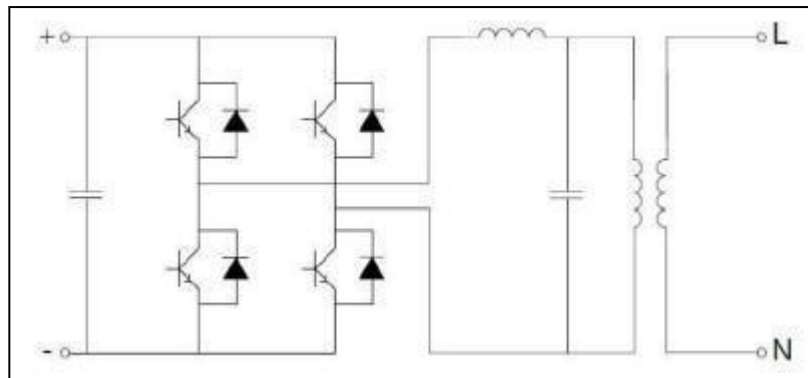
Gambar 2.6 *Thin Film Photovoltaic*[9]

Panel surya jenis ini terdiri dari dua lapisan, yaitu lapisan tipis mikrokristalin-silicon dan amorf. Dengan efisiensi sekitar 8,5%, modul ini memerlukan area permukaan yang lebih besar per watt daya yang dihasilkan dibandingkan dengan panel monokristal dan polikristal. Inovasi terbaru dalam teknologi ini adalah Thin Film Triple Junction Photovoltaic, yang menggunakan tiga lapisan. Panel ini dapat berfungsi dengan sangat efisien bahkan dalam kondisi cuaca yang sangat berawan dan mampu menghasilkan daya listrik hingga 45% lebih tinggi dibandingkan dengan panel lainnya pada tingkat daya yang setara.

2.2.5.2 Inverter

Inverter dalam sistem PLTS berfungsi untuk mengubah arus listrik searah (DC) yang dihasilkan oleh modul surya menjadi arus listrik bolak-balik (AC). Selain itu, inverter bertanggung jawab untuk mengontrol kualitas daya listrik yang dikeluarkan, baik untuk disuplai langsung ke beban maupun ke jaringan listrik. Untuk sistem PLTS dengan beban kecil, biasanya digunakan inverter satu fasa, sedangkan untuk sistem yang lebih besar dan terhubung dengan jaringan utilitas PLN, inverter tiga fasa sering digunakan.[10]

Gambar 2.7 Diagram Inverter Satu fasa [10]

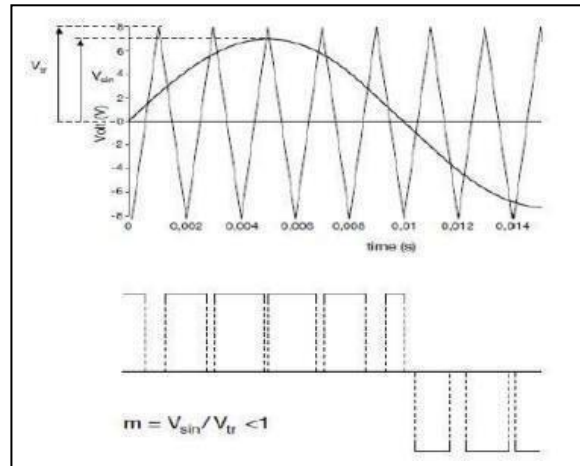


Prinsip dasar operasi inverter adalah mengubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC) dengan memodifikasi tegangan DC secara periodik untuk menghasilkan gelombang. Output inverter dapat berupa tegangan AC dengan bentuk gelombang sinusoidal (sine wave), gelombang kotak (square wave), atau gelombang sinus yang dimodifikasi (modified sine wave). Sumber tegangan input inverter bisa berasal dari baterai, output panel surya, atau sumber tegangan DC lainnya.[11]



Gambar 2.8 Inverter[11]

Untuk menghasilkan bentuk gelombang sinusoidal, teknik canggih seperti pulse width modulation (PWM) digunakan. Teknik PWM memungkinkan pengaturan yang lebih akurat untuk menghasilkan frekuensi yang sesuai dengan nilai rata-rata (RMS) dari bentuk gelombang keluaran.[12].



Gambar 2.9 Prinsip Teknologi PWM [12]

Inverter berfungsi sebagai penghubung antara modul surya dan jaringan listrik. Ada beberapa jenis inverter berdasarkan fungsinya:

- Central Inverter: Digunakan untuk sistem PLTS dengan modul yang seragam dan kapasitas daya di atas 100 kW.
- String Inverter: Diterapkan pada string, di mana modul PV dibagi menjadi beberapa string, dan setiap string dilengkapi dengan satu inverter. Teknologi ini mengurangi biaya, mempermudah instalasi, meningkatkan efisiensi energi, serta memperbaiki ketersediaan sistem.
- Module Inverter: Setiap modul PV dilengkapi dengan satu inverter mikro, yang biayanya relatif rendah.
- Smart Inverter: Inverter yang dapat terintegrasi dengan jaringan listrik publik, dilengkapi dengan sensor untuk memantau dan mengontrol jaringan listrik agar tetap stabil dan sesuai dengan tegangan listrik publik..[5]

Inverter dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis berdasarkan bentuk gelombang outputnya:

- Pure Sine Wave Inverter: Inverter ini menghasilkan output dengan bentuk gelombang sinus murni. Jenis inverter ini sangat efisien dalam menyediakan tegangan untuk beban seperti induktor atau motor listrik.

- Sine Wave Modified Inverter: Inverter ini mengeluarkan gelombang kotak yang telah dimodifikasi agar mirip dengan gelombang sinus. Namun, efisiensi daya dari

inverter ini lebih rendah, terutama saat digunakan untuk beban induktif atau motor listrik.

c. Square Wave Inverter: Inverter ini menghasilkan output berupa gelombang kotak. Jenis inverter ini tidak cocok untuk menyediakan tegangan bagi beban induktif atau motor listrik.

2.2.6 Analisis Ekonomis

2.2.6.1 Biaya *Operation and Maintenance*(O&M)

Biaya pemeliharaan dan operasional (M) PLTS Atap selama setahun, dihitung menggunakan rumusan sebagai berikut[13]:

$$M=1\% \times II \tag{2.1}$$

dimana:

II = Biaya investasi awal.

2.2.6.2 Biaya siklus hidup LCC

Biaya siklus hidup suatu sistem mencakup semua pengeluaran selama masa pakainya. Untuk sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Life Cycle Cost (LCC) meliputi nilai saat ini dari total biaya sistem, termasuk biaya investasi awal, biaya pemeliharaan dan operasional jangka panjang, serta biaya penggantian baterai.[14]:

$$LCC = II + O\&M \tag{2.2}$$

Dimana :

LCC = Biaya siklus hidup

II = Biaya investasi awal mencakup pengeluaran untuk pembelian komponen-komponen PLTS, pemasangan sistem, serta biaya tambahan seperti biaya untuk rak penyangga dan lainnya..

O&M = Biaya nilai sekarang untuk total biaya pemeliharaan dan operasional mencakup seluruh pengeluaran yang diperlukan untuk pemeliharaan dan operasional sistem selama n tahun atau selama umur proyek.

p = Biaya nilai sekarang untuk biaya penggantian mencakup semua pengeluaran yang diperlukan untuk penggantian komponen atau sistem selama masa proyek..

Nilai saat ini dari biaya tahunan yang akan dikeluarkan di masa depan (selama umur proyek), dengan jumlah pengeluaran yang tetap, dihitung dengan rumur sebagai berikut[14]:

(2.3)

Dimana:

P = Nilai sekarang biaya tahunan selama umur proyek.

A = Biaya Tahunan

i = Diskon

t = Umur investasi

Perbandingan antara penerimaan di masa depan dan pengeluaran saat ini menjadi kompleks karena perbedaan nilai uang dari waktu ke waktu. Untuk mengatasi masalah ini, konsep nilai waktu uang (Time Value of Money) diterapkan. Konsep ini mendiskontokan penerimaan masa depan ke nilai saat ini, sehingga memungkinkan perbandingan yang akurat dengan pengeluaran saat ini. Faktor diskonto (Discount factor) digunakan untuk mengubah penerimaan masa depan menjadi nilai saat ini. Tingkat diskonto yang digunakan bisa berupa suku bunga pasar atau suku bunga bank.[14]:

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

(2.4)

Dimana :

DF =Faktor diskon i = Diskon

t = Umur investasi

2.2.6.3 Biaya Energi

Biaya energi adalah rasio antara total biaya tahunan suatu sistem dengan jumlah energi yang dihasilkannya dalam periode yang sama. Dari perspektif ekonomi, biaya energi untuk PLTS berbeda dari pembangkit konvensional karena biaya energi PLTS dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti:[14]

- a. Biaya modal yang tinggi
- b. Tidak ada biaya bahan bakar

- c. Biaya perawatan yang rendah
- d. Biaya penggantian rendah seperti baterai

Perhitungan biaya energi untuk suatu PLTS ditentukan oleh Life Cycle Cost (LCC), Capital Recovery Factor (CRF), dan jumlah energi yang diproduksi dalam kWh oleh PLTS setiap tahunnya.

(2.5)

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

Dimana :

CRF = Faktor pemulihan modal

i = Diskon

n = Umur investasi

Biaya energi (*Cost Of Energi*) PLTS diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut :

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{A \text{ kWh}} \tag{2.6}$$

Dimana:

COE = *Cost of Energi* atau Biaya Energi (Rp/kWh).

CRF = Faktor pemulihan modal.

A kWh = Energi yang dibangkitkan tahunan (kWh/tahun).

2.2.6.4 Analisis Kelayakan Investasi

1. *Net Present Value (NPV)*

NPV adalah mengukur nilai sekarang dari seluruh aliran kas bersih dengan menggunakan faktor diskon. Metode ini mengitung nilai selisih antara nilai sekarang dari semua aliran kas bersih dan investasi awal yang dikeluarkan [14].

Faktor diskonto (DF) pada tahun ke-n dapat dihitung dengan rumusan sebagai berikut :

$$DF = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (2.7)$$

Rumus yang digunakan untuk mengitung NPV adalah sebagai berikut:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NFC_t}{(1+i)^t} - II \quad (2.8)$$

Dimana :

NFC_t = *Net Cash Flow* periode tahun ke-1 sampai ke-n.

II = Investasi awal

i = diskon

n = Umur investasi

Kriteria pengambilan keputusan apakah usulan investasi layak diterima atau layak ditolak adalah sebagai berikut :

- a) Investasi ini dibilang layak apa bila $NPV > 0$
- b) Investasi ini dibilang tidak layak apabila $NPV < 0$

2. **PI**

Profitability Index (PI) adalah perbandingan nilai sekarang dari seluruh kas bersih dengan investasi awal. Metode ini juga dikenal sebagai rasio manfaat-biaya. Perhitungannya menggunakan rumus sebagai berikut [14]:

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n NFC_t (1+i)^{-t}}{II} \quad (2.9)$$

Dimana:

$NFC_t = \text{Net Cash Flow}$ periode tahun ke-1 sampai ke-n.

II = Investasi awal

i = diskon

n = Umur investasi

Kriteria pengambilan keputusan apakah usulan investasi layak diterima atau layak ditolak adalah sebagai berikut :

- a. Investasi dinilai layak apabila $PI > 1$
- b. Investasi dinilai tidak layak apabila $PI < 1$

3. *Discounted Payback Period (DPP)*

DPP adalah waktu yang diperlukan untuk mengembalikan investasi awal melalui penerimaan yang dihasilkan dari proyek. Sebaliknya, Discounted Payback Period (DPP) adalah periode pengembalian yang dihitung dengan mendiskontokan aliran kas bersih nilai sekarang (PVNCF). DPP ditemukan dengan menentukan berapa lama kas bersih kumulatif yang telah didiskontokan akan menyamai investasi awal. Kriteria keputusan untuk menilai kelayakan investasi adalah sebagai berikut:

- a. Investasi dianggap layak jika DPP lebih pendek dari umur proyek (periode cut-off).
- b. Investasi dianggap tidak layak jika DPP lebih panjang dari umur proyek (periode cut-off).

4. IRR

Internal Rate of Return IRR adalah tingkat suku bunga di mana nilai NPV *Net Present Value* dari arus kas bersih proyek sama dengan nol. Ini berarti nilai sekarang dari semua arus kas masuk sama dengan investasi awal. [14].

$$0 = \sum_{t=0}^T \frac{X_t}{(1 + IRR)^t} \quad (2.10)$$

Dimana :

X_t = Cash Flow di tahun ke-t

IRR = Rate of Return

Keterangan dimana IRR dinyatakan sebagai berikut:

- Jika IRR > dari modal maka proyek diterima.
- Jika IRR , dari modal maka proyek ditolak

Suatu proyek investasi dianggap layak jika tingkat pengembalian internal (IRR) lebih tinggi dari tingkat pengembalian minimum yang dapat diterima (MARR). MARR ditentukan berdasarkan tingkat bunga bank atau tingkat bunga bank ditambah premi risiko yang mencerminkan risiko proyek serta keuntungan yang diharapkan oleh investor. Dalam proyek teknik, MARR umumnya sekitar 6%. Sebaliknya, jika IRR di bawah MARR, investasi dianggap tidak layak atau tidak menguntungkan. Jika IRR sama dengan MARR, maka pengembalian investasi berada pada titik impas atau titik minimum kelayakan.

2.2.6.5 Survey dan Pemetaan

Salah satu langkah krusial dalam perencanaan pemasangan PLTS atap on-grid adalah survei dan pemetaan. Metode ini digunakan untuk mengumpulkan data tentang kondisi sinar matahari, orientasi atap, dan faktor lingkungan lainnya yang dapat mempengaruhi kinerja sistem PLTS. Pemetaan sinar matahari yang komprehensif membantu dalam menentukan lokasi terbaik untuk pemasangan panel surya, menghitung potensi energi yang dapat dihasilkan, serta merancang tata letak panel yang optimal. [15]

1. Pengumpulan Data Lokasi: Mengumpulkan informasi mengenai lokasi pemasangan PLTS atap meliputi koordinat geografis (lintang dan bujur) serta elevasi dari lokasi tersebut.
2. Menentukan Waktu dan Durasi Pemetaan: Pemetaan sinar matahari dapat dilakukan selama beberapa hari hingga berbulan-bulan, namun biasanya dilakukan selama satu tahun untuk memperoleh data yang menyeluruh dan representatif.
3. Penggunaan Perangkat Lunak: Analisis dan pemodelan sinar matahari dapat dilakukan menggunakan perangkat lunak khusus seperti PVsyst, SketchUp, atau ArcGIS. Perangkat lunak ini memungkinkan pembuatan model sinar matahari yang akurat berdasarkan algoritma dan data historis sinar matahari.
4. Survei Lokasi: Melakukan observasi langsung di lokasi pemasangan untuk mengevaluasi kesesuaian atap dan kondisi bangunan. Ini mencakup penilaian terhadap orientasi, kemiringan atap, potensi naungan, dan kekuatan struktur bangunan. [15]

2.2.6.6 Aspek Teknis

Dalam merencanakan sistem PLTS dari sudut pandang teknis, penting untuk mempertimbangkan berbagai hal, seperti pola operasi sistem dan apakah sistem tersebut akan terhubung dengan jaringan listrik atau tidak. Pilihan jenis dan kapasitas komponen utama, yaitu modul surya dan inverter, dipengaruhi oleh faktor-faktor tersebut. Kapasitas PLTS biasanya diukur dalam kilowatt peak (kWp), sementara kapasitas inverter diukur dalam kilowatt. Konfigurasi, kapasitas, dan jumlah inverter harus disesuaikan dengan tingkat reliabilitas yang diinginkan. Penilaian kelayakan proyek adalah langkah awal yang penting dalam perencanaan. Penilaian ini mencakup berbagai aspek, termasuk teknis, lingkungan, finansial, sosial, ekonomi, dan risiko. Kelayakan teknis dan biaya adalah dua komponen utama yang biasanya dipertimbangkan untuk memastikan bahwa sistem dapat diterapkan secara efektif.[16].

2.2.7 PVsyst

PVsyst adalah perangkat lunak yang digunakan untuk pembelajaran, perhitungan, dan analisis sistem fotovoltaik secara menyeluruh. Dikembangkan oleh Universitas Genewa, PVsyst menyediakan fitur untuk mensimulasikan berbagai jenis sistem, termasuk sistem yang terhubung dengan jaringan (grid-connected), sistem mandiri (stand-alone), sistem pompa (pumping), dan jaringan arus searah untuk transportasi publik (DC-grid). Perangkat lunak ini dilengkapi dengan basis data

meteorologi yang luas serta informasi komponen. PV, seperti yang bersumber dari MeteoNorm V7.1, NASA-SSE, PVGIS, Satel-Light, TMY2/3, SolarAnywhere, EPW, RetScreen, Helioclim, dan Solar GIS. Dalam penelitian ini, versi PVsyst yang digunakan adalah 7.1.7. tampilan dari apk PVsyst. [17]



Gambar 10. PVsyst. [7]

2.2.8 Alat Ukur





Alat ukur adalah perangkat yang digunakan untuk melakukan inspeksi dan pengukuran berbagai parameter pada benda atau sistem. Dalam konteks perancangan PLTS, alat ukur sangat penting untuk memperoleh data yang akurat dan memastikan bahwa desain memenuhi standar yang diperlukan. Berikut adalah beberapa alat ukur yang digunakan dalam proses penelitian dan perancangan PLTS:

- a. **Multimeter Digital:** Alat ini digunakan untuk mengukur berbagai besaran listrik seperti tegangan, arus, dan hambatan dalam rangkaian listrik. Multimeter digital juga dapat berfungsi sebagai alat uji elektronik yang mengukur tegangan AC atau DC dengan hasil pembacaan dalam format numerik digital.
- b. **Pyranometer:** Alat ini digunakan untuk mengukur tingkat penyinaran atau iradiasi matahari. Pyranometer dilengkapi dengan sensor yang mengukur kerapatan fluks elektromagnetik radiasi matahari pada permukaan datar.
- c. **Clamp Meter:** Juga dikenal sebagai tang amper, alat ini digunakan untuk mengukur arus listrik tanpa perlu memutuskan sirkuit. Clamp meter beroperasi berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yang memungkinkan pengukuran arus dengan menjepitkan alat pada konduktor yang sedang mengalirkan arus listrik.

BAB III METODE PENELITIAN

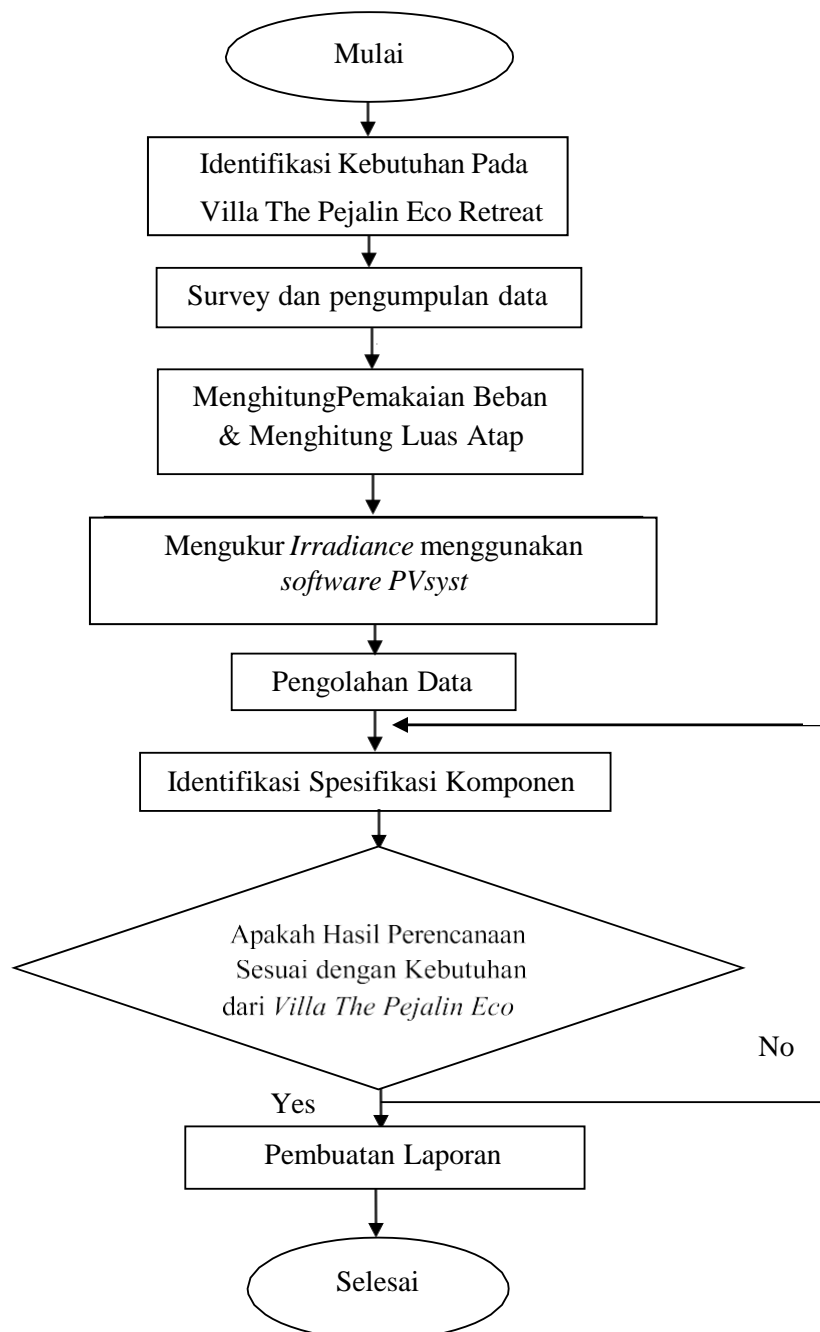
1.1 Tempat Penelitian yang dilakukan

Penelitian ini dilakukan untuk merencanakan sistem PLTS On-Grid di Villa The Pejalina Eco Retreat, yang terletak di Banjar Auman, Desa Pelaga, Kecamatan Petang, Kabupaten Badung-Bali. Villa ini adalah fasilitas penginapan yang menyediakan villa pribadi dengan 5 kamar tidur dan pemandangan alam yang masih alami. Penelitian berlangsung dari Mei 2024 hingga Agustus 2024. Villa The Pejalina Eco Retreat memiliki daya listrik terpasang sebesar 10.600 VA dengan golongan R-3/TR, serta tarif listrik Rp1.699,53 per kWh. Luas bangunan adalah 1,2 hektar, dengan luas atap yang akan dipasang PLTS sebesar 200 m², menghadap ke utara.

	
<p>Gambar 3.1 dari tampak atas (Dokumentasi Google earth)</p>	<p>Gambar 3.2 kondisi villa (Dokumentasi Pribadi)</p>
	
<p>Gambar 3.3 kondisi villa (Dokumentasi Pribadi)</p>	<p>Gambar 3.4 kwh pada villa (Dokumentasi Pribadi)</p>

1.2 Desain Penelitian

Penelitian ini mengikuti beberapa tahapan yang digambarkan dalam diagram alir, yang memperlihatkan proses dan langkah-langkah yang dilakukan. Diagram alir ini dirancang untuk mempermudah pemahaman mengenai setiap tahap dalam penelitian. Berikut adalah diagram alir penelitian tersebut



Gambar 3.5 Diagram alir penelitian

1.3 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan langkah untuk memastikan penelitian ini berjalan dengan baik dan lancar. Berikut adalah data-data yang diperlukan dalam penelitian:

- a. Daya yang dibutuhkan, berapa konsumsi energi pada Villa The Pejalin Eco Retreat. Penujian konsumsi energi ini meliputi beberapa pengukuran yang dilakukan pada setiap satu jam selama satu hari. Pengujian ini menggunakan alat ukur Tang Amper Kyoritsu 2046r digital serta multimer digital.

Jam	LWBP	WBP	Voltage			Arus			PF	Keterangan
			R	S	T	R	S	T		

Tabel 3.1 Pengukuran Beban Di Villa The Pejalin Eco Retreat

- b. Data luas atap villa diperoleh melalui pengamatan langsung di lapangan dan penyesuaian menggunakan pemetaan dari perangkat lunak PVsyst.
- c. Data spesifikasi komponen PLTS meliputi informasi tentang modul surya dan inverter yang akan digunakan. Data ini akan diperoleh melalui akses online atau katalog dari produsen modul dan inverterMerancang diagram line dalam instalasi PLTS di Villa The Pejalin Eco Retreat sesuai dengan kebutuhan di Villa.
- d. Data harga komponen pada saat pembangunan PLTS di Villa The Pejalin Eco Retreat Menggunakan berbagai sumber di marketplace.

No	Deskripsi	Unit Satuan	Jumlah Unit	Harga Rp	Total Rp
1					
2					
3					
4					
5					

Tabel 3.2 Daftar Harga Komponen PLTS Atap *On-Grid* yang direncanakan

- e. Data potensi radiasi matahari pada Villa The Pejalin Eco Retreat. Dengan pengujian iradiasi temperatur udara dan kecepatan angin di area pemasangan plts sehingga bisa mengetahui baik atau tidaknya pemasangan plts di area villa. Pengukuran iradiasi menggunakan alat ukur Pyranometer, sedangkan temperatur udara menggunakan alat ukur termometer digital dan kecepatan angin menggunakan alat ukur anemometer.

No	Jam	Iradiasi	Temperatur (°C)
1			
2			
3			
4			
5			

Tabel 3.3 Data Iradiasi Matahari pada Villa The Pejalin Eco Retreat

Pada tahapan ini, dilakukan penentuan kapasitas PLTS yang akan dibangkitkan serta analisis luas modul yang diperlukan. Selain itu, tahap ini mencakup perhitungan jumlah modul yang dibutuhkan, kapasitas inverter, dan konfigurasi seri-paralel modul surya yang akan digunakan dalam penelitian. Tujuannya adalah untuk merancang desain PLTS dan memperoleh gambaran tentang rancangan PLTS di lokasi penelitian. Perhitungan biaya investasi dilakukan untuk mengetahui biaya awal yang diperlukan serta menghitung periode pengembalian modal agar tidak melebihi umur PLTS, yang direncanakan selama 25 tahun..

1.4 Metode Analisis Data

Pada tahap analisis data, pendekatan yang digunakan mengacu pada landasan teori yang telah disusun. Proses ini mencakup survei atau pengumpulan data untuk menentukan daya yang terhubung dengan PLN, sehingga dapat diketahui bahwa 30% daya akan disuplai oleh PLTS. Data penting lainnya termasuk luas atap yang tersedia, yang akan menentukan penempatan modul surya sesuai dengan desain teknis dan investasi pada pemasangan PLTS on-grid di villa. Dengan menggunakan perangkat lunak PVsyst, kapasitas PLTS yang dapat dipasang, jenis modul surya, unit inverter yang digunakan, dan perhitungan investasi atau Life Cycle Cost (LCC) akan dianalisis dengan bantuan Microsoft Excel. Setelah itu, dilakukan penarikan kesimpulan dari seluruh proses penelitian dan pemberian saran untuk penelitian berikutnya guna meningkatkan kualitas penelitian di masa depan. Beberapa persamaan yang digunakan dalam deskripsi ini akan berdasarkan data yang diperoleh.

1.4.1 Menghitung Kapasitas Daya PLTS

Untuk menentukan berapa kapasitas daya PLTS yang direncanakan digunakan persamaan sebagai berikut:

$$PLTS = S \times 100\%$$

Keterangan :

PLTS : Daya PLTS

S : Daya PLN

100% : Regulasi PLN Terkait Daya Maksimum PLTS On-Grid

1.4.2 Menghitung Jumlah Modul

Tahapan berikutnya adalah menghitung jumlah modul surya yang dibutuhkan untuk menentukan kapasitas modul berdasarkan kapasitas beban terpasang, langkah pertama adalah mengetahui kapasitas modul yang akan digunakan. Jumlah modul dapat dihitung dengan rumur berikut:

$$\text{jumlah modul surya} = \frac{\text{Kapasitas PLTS (Wp)}}{\text{Kapasitas Modul (Wp)}} \quad (3.2)$$

Setelah menentukan jumlah modul surya maka dapat ditentukan total luasan dari modul surya dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

Total luas modul surya = Luas 1 unit modul surya x jumlah modul surya.

1.4.3 Menghitung Konfigurasi Seri-Paralel Modul Surya

Tahapan selanjutnya adalah menentukan konfigurasi rangkaian seri-paralel modul surya. Ini penting untuk mengetahui tegangan dan arus input DC dari panel surya ke inverter. Perhitungan untuk menentukan jumlah modul yang dihubungkan secara seri maupun paralel adalah sebagai berikut:

$$\text{Rangkaian Seri Minimal} = \frac{V_{\min \text{ inverter}} (V)}{V_{oc \text{ Modul}} (V)} \dots \quad (3.3)$$

$$\text{Rangkaian seri maksimal} = \frac{V_{\max \text{ inverter}} (V)}{V_{mp \text{ modul}} (V)} \quad (3.4)$$

$$\text{Rangkaian paralel maksimal} = \frac{I_{\max \text{ inverter}}}{I_{mp \text{ modul}}} \quad (3.5)$$

Untuk menghitung energi rata-rata yang dihasilkan per tahun, data iradiasi yang digunakan adalah iradiasi rata-rata, yang dikenal sebagai Peak Sun Hour (PSH). Energi yang dihasilkan selama satu tahun dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$E_{out} = P_i \times PSH \quad (3.6)$$

Keterangan :

E_{out} = Total Energi Output (kWh)

P_i = Total Daya Output (kW)

PSH = *Peak Sun Hour* (kWh/m²/hari)

1.4.4 Analisis Ekonomis

3.4.4.1 Biaya *Operation and Maintenance*(O&M)

Biaya pemeliharaan dan operasional (M) PLTS Atap selama setahun, dihitung menggunakan rumusan sebagai berikut[13]:

$$M = 1\% \times II \quad (3.7)$$

dimana:

II = Biaya investasi awal.

3.4.4.2 Biaya Siklus Hidup (*Life Cycle Cost*)

Biaya siklus hidup suatu sistem mencakup semua pengeluaran selama masa operasinya. Untuk sistem PLTS, biaya siklus hidup (LCC) mencakup nilai sekarang dari total biaya sistem, yang meliputi biaya investasi awal, biaya pemeliharaan dan operasional jangka panjang, serta biaya penggantian baterai. [14]:

$$LCC = II + O\&M \quad (3.8)$$

Dimana :

LCC = Biaya siklus hidup (*Life Cycle Cost*).

II = Biaya investasi awal adalah biaya awal yang dikeluarkan untuk pembelian komponen-komponen PLTS, biaya instalasi, dan biaya lainnya misalnya biaya rak penyangga.

O&M = Biaya nilai sekarang untuk total biaya pemeliharaan dan operasional selama n tahun atau selama umur proyek.

p = Biaya nilai sekarang untuk biaya penggantian yang harus dikeluarkan selama umur proyek.

Nilai sekarang biaya tahunan yang akan dikeluarkan beberapa waktu mendatang

selama umur proyek dengan jumlah pengeluaran yang tetap, dihitung dengan rumus sebagai berikut.[14]:

(3.9)

Dimana:

P = Nilai sekarang biaya tahunan selama umur proyek.

A = Biaya pertahun

i = Diskom

n = Umur proykr

Perbandingan antara penerimaan di masa depan dan pengeluaran saat ini dapat menjadi tantangan karena perbedaan nilai waktu uang. Konsep nilai waktu uang (Time Value of Money) mengatasi masalah ini dengan mendiskontokan penerimaan masa depan ke nilai sekarang, sehingga memungkinkan perbandingan dengan pengeluaran saat ini. Faktor diskonto (Discount Factor) digunakan untuk mengubah nilai penerimaan masa depan menjadi nilai sekarang. Tingkat diskonto yang digunakan untuk evaluasi saat ini biasanya berupa tingkat suku bunga pasar atau suku bunga bank.[14]:

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

(3.9)

Dimana :

DF = Faktor diskon

i = diskon

t = Periode dalam tahun (umur investasi)

3.4.4.3 Biaya Energi

Biaya energi adalah perbandingan antara total biaya tahunan sistem dengan jumlah energi yang dihasilkannya selama periode yang sama. Dari perspektif ekonomi, biaya energi untuk sistem PLTS berbeda dari biaya energi untuk pembangkit konvensional. Perbedaan ini disebabkan oleh berbagai biaya yang memengaruhi biaya energi PLTS, seperti:

- Biaya awal tinggi.
- Tidak ada biaya bahan bakar.
- Biaya pemeliharaan rendah.
- Biaya penggantian rendah seperti baterai.

Perhitungan biaya energi untuk suatu PLTS ditentukan oleh Life Cycle Cost (LCC), Capital Recovery Factor (CRF), dan jumlah kWh yang diproduksi dalam setahun.

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (3.10)$$

Dimana :

CRF = Pemulihan modal

DF = Diskon

n = Umur investasi

Rumus Biaya energi PLTS Sebagai berikut:

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{A \text{ kWh}} \quad (3.11)$$

Di mana:

COE = Biaya energi

CRF = Pemulihan modal

A kWh = Energi per tahun

1.4.5 Analisis kelayakan investasi

3.4.5.1 NPV

Net Present Value menggambarkan bagaimana seluruh aliran kas bersih dihitung dalam nilai sekarang dengan menggunakan faktor diskon.. Metode mengevaluasi selisih antara total nilai sekarang dari aliran kas bersih dan investasi awal yang dikeluarkan.

Faktor diskonto (DF) pada tahun ke-n dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$DF = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (3.12)$$

Rumus yang digunakan untuk menghitung NPV adalah sebagai berikut:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NFC_t}{(1+i)^t} - II \quad (3.13)$$

Dimana:

NFC_t = *Net Cash Flow* periode tahun ke-1 sampai ke-n.

II = Investasi Awal

i = Diskon

n = Usia Investasi

Kriteria pengambilan keputusan apakah usulan investasi layak diterima atau layak ditolak adalah sebagai berikut :

- c) Investasi dinilai layak bila $NPV > 0$
- d) Investasi dinilai layak bila $NPV < 0$

3.4.5.2 Profitability Index

Profitability Index adalah rasio yang membandingkan total nilai kini dari aliran kas bersih dengan investasi awal. Metode ini juga dikenal sebagai rasio manfaat-biaya (benefit-cost ratio). Perhitungan Profitability Index dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n NFC_t(1+i)^{-t}}{II} \quad (3.14)$$

Dimana :

NFC_t = *Net Cash Flow* periode tahun ke-1 sampai ke-n.

II = Investasi awal

i = Diskon

n = Umur Investasi

Keterangan Investasi dinilai Layak sebagai berikut :

- A. Investasi dianggap layak jika Profitability Index (PI) lebih besar dari satu (> 1).
- B. Investasi dianggap tidak layak jika Profitability Index (PI) kurang dari satu (< 1).

5.

3.4.5.2 DPP

Payback Period adalah waktu yang diperlukan untuk mengembalikan nilai investasi melalui penerimaan dari proyek. Sementara itu, Discounted Payback

Period (DPP) mengukur periode pengembalian yang telah didiskontokan. DPP dihitung dengan menentukan berapa tahun kumulatif dari kas bersih nilai sekarang (PVNCF) yang dibutuhkan untuk menyamai investasi awal. Kriteria keputusan untuk menilai kelayakan investasi adalah sebagai berikut:

Investasi dianggap layak jika Discounted Payback Period (DPP) lebih singkat dari umur proyek (periode cut-off). Sebaliknya, investasi dianggap tidak layak jika DPP lebih panjang dari umur proyek (periode cut-off)

3.4.5.3 IRR

IRR adalah tingkat suku bunga di mana nilai NPV sama dengan nol, yaitu ketika nilai kini dari arus kas masuk sama dengan investasi awal.

$$0 = \sum_{t=0}^T \frac{X_t}{(1+IRR)^t} \quad (3.15)$$

Dimana:

X_t = Cash Flow di tahun ke-t

IRR = Rate of Return.

Jika IRR digunakan untuk membuat keputusan menerima atau menolak suatu proyek, kriteria keputusannya adalah sebagai berikut:

- Jika $IRR >$ dari Modal proyek diterima.
- Jika $IRR <$ dari modal proyek ditolak.

Sebuah proyek investasi dianggap layak jika Internal Rate of Return (IRR) lebih tinggi dari Minimum Acceptable Rate of Return (MARR). MARR sendiri ditetapkan berdasarkan tingkat bunga bank. ditambah risk premium yang mencerminkan risiko proyek, serta tingkat keuntungan yang diharapkan oleh investor. Dalam proyek teknik, MARR biasanya berada pada kisaran 6%. Jika IRR lebih rendah dari MARR, investasi dianggap tidak layak atau tidak menguntungkan. Jika IRR sama dengan MARR,.

3.4.6 Hasil yang diharapkan

Setelah perencanaan PLTS On Grid Atap di Villa The Pejaln Eco Retreat, Banjar Auman, Desa Pelaga, Kecamatan Petang, Kabupaten Badung-Bali selesai

dilakukan, diharapkan hasil simulasi sistem PLTS dapat berfungsi secara optimal sesuai dengan keinginan dan ketentuan yang berlaku. Hal ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi klien atau pemilik villa tersebut. Dari segi perancangan dan ekonomi, sistem ini diharapkan dapat membantu klien dalam menghemat pemakaian energi listrik dari PLN, serta berkontribusi dalam mendukung upaya pemerintah untuk mewujudkan energi bersih di Bali.

3.4.7 Jadwal kegiatan

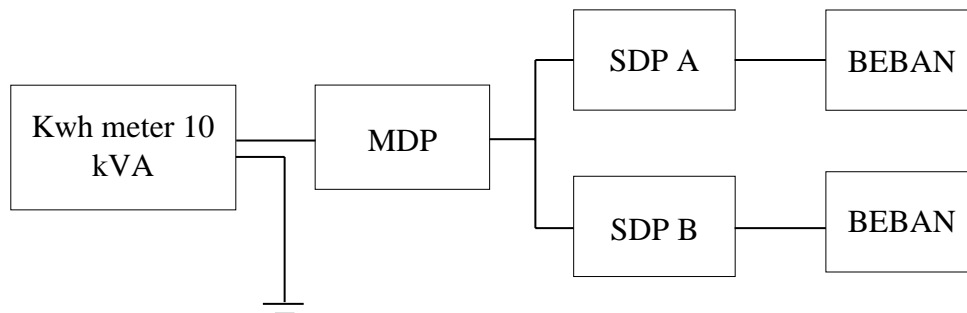
A	KEGIATAN																
		MEI				JUNI				JULI				AGST			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur	■	■	■													
2	Penyusunan Proposal				■	■	■	■									
3	Ujian Proposal							■									
4	Revisi Proposal								■	■							
5	Pengumpulan Data									■	■	■					
6	Input Data											■	■				
7	Analisis Data											■	■				
8	Pembuatan Skripsi											■	■	■	■		
9	Ujian Skripsi															■	
10	Revisian Skripsi																■
11	Penyetoran Laporan Skripsi																■

Tabel 3.4 Jadwal Kegiatan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Villa The Pejalin Eco Retreat

Villa The Pejalin Eco Retreat, yang terletak di Banjar Auman, Desa Pelaga, Kecamatan Petang, Kabupaten Badung-Bali, memiliki gambar single line diagram untuk sistem kelistrikannya. Gambar tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.1, yang menunjukkan diagram satu garis dari sistem kelistrikan di villa tersebut.



Gambar 4.1 Diagram Single line Villa The Pejalin Eco Retreat

Tabel 4.1 Karakteristik Beban Pada Villa The Pejalin Eco Retreat

ol NO	BAGIAN	NAMA BEBAN	TOTAL (UNIT)	DAYA (W)	DAYA TOTAL (W)	JAM ON	JAM OFF	TOTAL (JAM)	24 JAM TOTAL (W)	30 HARI TOTAL (W)
1	Penerangan	Lampu LED	20	5	100	18:00	06:00	12	1200	36000
		LAMPULED TAMAN	7	10	70	18:00	06:00	12	840	25200
		LAMPULobby	2	50	100	18:00	06:00	12	1200	36000
		Lampu Tidur	5	5	25	20:00	06:00	10	250	7500
2	Kamar	TV 32 inch	5	70	350			5	1750	52500
		Mini Bar	5	75	375	00:00	24:00	24	9000	270000
		Hairdyer	5	50	250			1	250	7500
		AC 1/2 Pk	5	310	1550	10:00	16:00	6	9300	279000
		Exhaust toilet	5	12	60	00:00	00:00	24	1440	43200
3	Ruang makan	Kimpas angin	2	75	150	10:00	16:00	6	900	27000
		Sound 1 paket 16 titik	1	250	250	06:00	21:00	15	3750	112500
4	Air	Pompa shimzu PC-268 BIT (menggunakan Air Sumur)	2	580	1160			4	4640	139200
		water heater ariston 30 liter	2	350	700			2	1400	42000
5	Lobby	TV LED 42 inch	1	170	170	06:00	22:00	16	2720	81600
		Kipas Angin	1	75	75	10:00	16:00	6	450	13500
6	Kitchen	Oven Sharp Eo-38BK	1	700	700			3	2100	63000
		Blende Miyako 1.5 liter	1	200	200			2	400	12000
		Klulkas besar	1	350	350	00:00	24:00	24	8400	252000
		Exhaust	1	100	100	00:00	24:00	24	2400	72000
7	Laundry	Mesin Cuci LG	1	350	350			6	2100	63000
	TOTAL		73	3787	7085			214	54490	1634700

Tabel 4.2 Karakteristik Beban Pada Villa The Pejalín Eco Retreat

NO	KETERANGAN	
1	JUMLAH DAYA	7085 Watt
2	TOTAL JAM OPERASIONAL	214 JAM
3	TOTAL BEBAN HARIAN	54490 Watt : 1000 = 54,49 kWh
4	TOTAL BEBAN BULANAN	1634700 Watt : 1000 = 1,634,7 kWh
5	kWh CL 16 (GOLONGAN PLN R-3/TR)	10.600 VA
6	GOLONGAN PLN R-3/TR	1699,53/kWh
7	TOTAL TAGIHAN 30 HARI	RP 2,778,221,691

Karakteristik beban pada Villa The Pejalín Eco Retreat ini memiliki daya total sebesar 7085 Watt dimana beban yang terdapat pada villa. meliputi lampu, alat elektronik dll untuk pendukung villa The Pejalín Eco Retreat, pada tabel diatas adalah data dan nama komponen beban yang ada di villa Pejalín Eco Retreat.

Tabel 4.3 Penggunaan Energi Villa The Pejalín Eco Retreat.

JAM	LWBP	WBP	TEGANGAN (V)			ARUS (A)			Hertz
	kWh	kWh	RS	ST	TR	IR	IS	IT	Hz
0:00	157,05	37,19	380,53	378,65	380,54	11,3	12,2	11,9	50
1:00	167,07	37,19	376,87	381,46	380,66	11,1	11,7	14,4	50
2:00	157,09	37,19	378,73	383,42	381,41	12,1	12,3	12,5	50
3:00	157,11	37,19	379,38	383,72	379,62	12,3	11,5	12,6	49
4:00	157,13	37,19	380,64	383,21	378,84	12,3	11,8	12,4	49
5:00	157,15	37,19	378,61	381,51	379,42	12,1	11,9	12,4	50
6:00	157,17	37,19	379,07	381,03	380,47	11,1	11,7	11,5	50
7:00	157,19	37,19	378,35	380,13	381,51	12,7	11,6	12,1	49
8:00	157,21	37,19	380,83	383,22	380,67	12,9	11,6	11,9	50
9:00	157,23	37,19	381,76	380,39	380,99	11,9	11,9	11,7	49
10:00	157,25	37,19	381,53	382,37	379,09	12,2	12,1	12,2	50
11:00	157,27	37,19	381,33	381,11	383,72	12,1	12,3	11,9	50
12:00	157,29	37,19	383,65	382,58	384,29	12,2	11,6	12,1	50
13:00	157,31	37,19	382,05	383,37	381,11	12,6	11,8	12,2	49
14:00	157,33	37,19	381,12	382,96	379,01	12,3	12,1	11,9	49
15:00	157,35	37,19	379,19	382,14	380,03	12,1	11,8	11,8	50
16:00	157,37	37,19	381,11	381,4	382,44	11,6	11,7	11,9	49
17:00	157,39	37,19	382,23	379,48	380,71	12,3	12,2	12,3	50
18:00	157,41	37,19	379,15	380,49	380,24	13,1	12,8	13,1	50
19:00	157,41	37,22	379,02	381,19	380,59	12,6	12,9	12,8	50
20:00	157,41	37,26	378,83	380,61	381,11	13,2	13,1	12,8	49
21:00	157,41	37,29	380,24	380,54	381,19	12,8	12,5	12,6	50
22:00	157,41	37,32	379,73	381,13	379,82	12,7	12,6	12,7	49
23:00	157,44	37,32	381,61	382,17	380,88	12,6	12,3	12,1	49

Didapatkan pengukuran penggunaan energi di Villa The Pejalin Eco Retreat dimana bisa terlihat pada tabel 4.3 ada pengukuran luar waktu beban puncak (LWBP), waktu beban puncak (WBP), tegangan, arus dan Hertz. Dengan pengukuran luar waktu beban puncak sebesar 39 kWh dan waktu beban puncak 13 kWh.

Data konsumsi energi atau pemakaian listrik di Villa The Pejalin Eco Retreat menggunakan data rekening koran yang diperoleh dari PLN dimana tercatat pada rekening koran konsumsi energi yang digunakan dari bulan Januari sampai Juli 2024 dengan daya listrik yang tersambung sebesar 10 kVA. Data konsumsi energi atau pemakaian dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Konsumsi Energi (kWh)

Daya 10.600 VA		
Bulan-Tahun	Konsumsi Energi (kWh)	Rupiah (Rp)
Jan 2024	1,150	1,954,459
Feb 2024	1,200	2,039,436
Mar 2024	900	1,529,577
Apr 2024	1,050	1,784,506
Mei 2024	1,750	2,974,177
Juni 2024	1,500	2,549,295
Juli 2024	1,600	2,719,248
Total	9,150	15,550,698

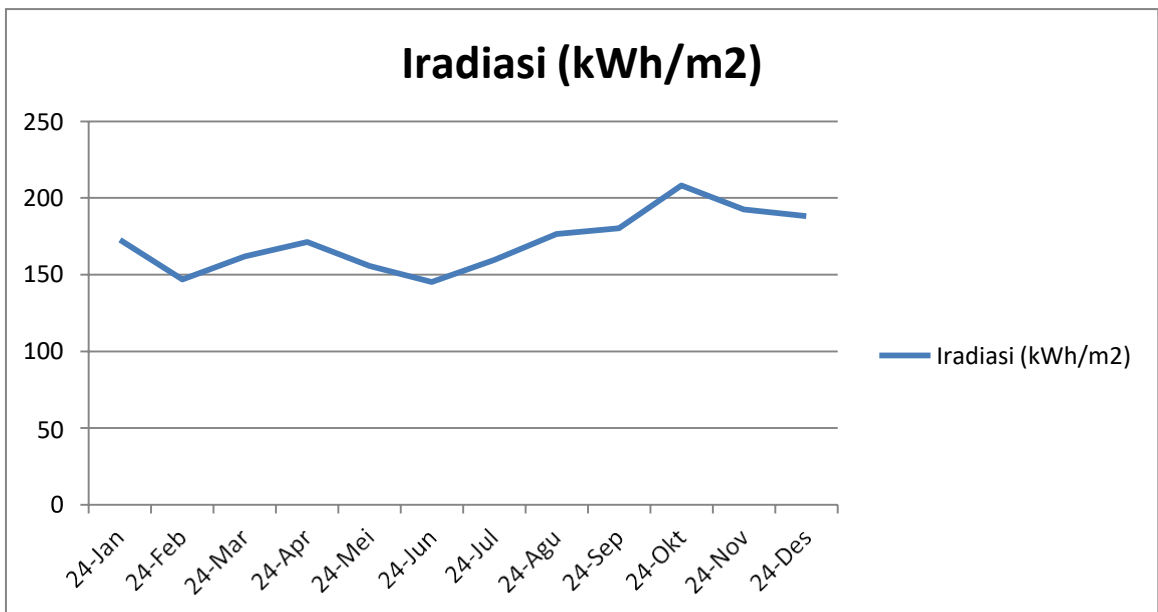
Dapat dilihat pada Tabel 4.4 dalam kurun waktu selama bulan Januari sampai Juli 2024 total konsumsi energinya yaitu sebesar 9,150 kWh. Konsumsi energi tertinggi berada pada bulan Mei 2024 sebesar 1,750 kWh hal ini dikarenakan banyaknya jumlah tamu sedangkan konsumsi energi paling sedikit berada pada bulan Maret 2024 sebesar 900 kWh hal ini dikarenakan tamu yang ada di villa menurun.

4.2 Perancangan PLTS Atap

Besarnya nilai iradiasi matahari merupakan faktor penting yang mempengaruhi daya output dari PLTS, karena kinerja PLTS sangat bergantung pada kualitas penyinaran matahari di lokasi tertentu. Dalam penelitian ini, nilai iradiasi matahari diperoleh menggunakan perangkat lunak PVsyst dengan mencantumkan koordinat lokasi penelitian. Data iradiasi matahari yang digunakan adalah untuk tahun 2024.

Tabel 4.5 Data Iradiasi Matahari Pada Villa The Pejalin Eco Retreat

Bulan	Iradiasi (kWh/m ²)
Jan-24	172,7
Feb-24	146,8
Mar-24	161,8
Apr-24	171,2
Mei-24	155,6
Jun-24	145,2
Jul-24	159,7
Agu-24	176,5
Sep-24	180,3
Okt-24	198,6
Nov-24	192,6
Des-24	188,1



Gambar 4.2 Grafik data iradiasi matahari Pada Villa The Pejalin Eco Retreat

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa nilai iradiasi matahari tertinggi terjadi pada bulan Oktober dengan 198,6 kWh/m², sedangkan nilai terendah tercatat pada bulan Juni dengan 145,2 kWh/m². Rata-rata iradiasi matahari sepanjang tahun adalah 2058,8 kWh/m². Untuk menghitung nilai Peak Sun Hours (PSH) dalam satuan kWh/m²/hari, didapatkan nilai rata-rata sebesar 5,64 kWh/m²/hari menggunakan rumus berikut:

PSH (Peak Sun Hours)

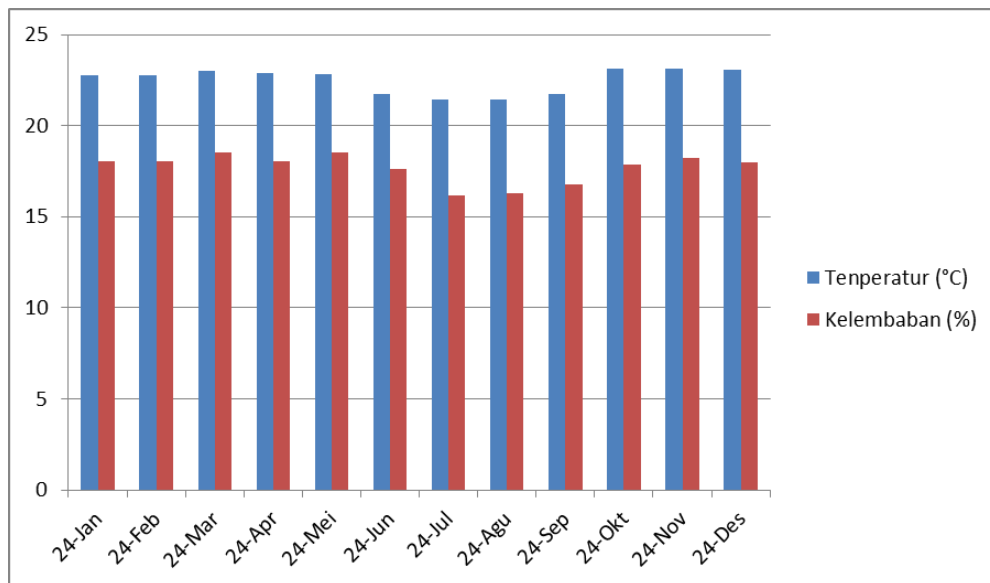
$$\text{PSH} = \frac{\text{Total Energi Harian (kWh/m}^2\text{/day)}}{1 \text{ kW/m}^2}$$

$$\text{PSH} = \frac{5,64 \text{ kWh/m}^2 \text{ /day}}{1 \text{ kW/m}^2} = 5,64 \text{ hours / day}$$

$$\text{PSH} = 5,64 \text{ hours / day}$$

Tabel 4.6 Data Temperatur dan kelembaban Pada Villa The Pejalin Eco Retreat

Bulan	Temperatur (°C)	Kelembaban (%)
Jan-24	22,79	18,07
Feb-24	22,76	18,07
Mar-24	23,01	18,55
Apr-24	22,88	18,07
Mei-24	22,82	18,55
Jun-24	21,73	17,64
Jul-24	21,42	16,17
Agu-24	21,44	16,3
Sep-24	21,73	16,78
Okt-24	23,13	17,88
Nov-24	23,16	18,25
Des-24	23,09	18,01
Rata-rata	22,50	17,1



Gambar 4.3 Grafik Data Temperatur dan kelembaban Pada Villa The Pejalin Eco Retreat

Dari hasil data pengukuran temperatur didapatkan dari hasil data Pvsyst menunjukkan rata-rata 22,50 °C dan untuk kelembaban yang di ambil melalui situs web Nasa menunjukkan untuk rata-rata 17,1%. bisa dilihat pada data tabel 4.6 dan grafik gambar 4.3.

Modul Surya yang akan digunakan pada Villa The Pejalin Eco Retreat ini menggunakan modul surya tipe Si mono LR5 66HPH 500M dengan daya keluaran permodulnya sebesar 500Wp. kualitas barang yang memiliki efisiensi tinggi yaitu sebesar 21,3 % dan ketersediaan barangnya ada di pasaran. Berikut modul surya Longi Solar Si mono LR5 66HPH 500M dengan data spesifikasi dapat dilihat pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Spesifikasi Panel Surya Si mono LR5 66HPH 500M

<i>Max Power (Pmax)</i>	500 Wp
<i>Module Efficiency</i>	21,3 %
<i>Max Power Point Voltage (Vmpp)</i>	38,38 V
<i>Max Power Point Current (Impp)</i>	13,03 A
<i>Open Sircuit Voltage (Voc)</i>	45,55 V
<i>Short Circuit Current (Isc)</i>	14,46 A
Dimensi(L/W/H)	2073/1133/35mm
Berat	25,1 Kg



Gambar 4.4 panel Surya Si mono LR5 66HPH 500M

Inverter adalah alat untuk mengubah arus bulak balik ke arus searah. Pemilihan kapasitas inverter nantinya akan digunakan ialah mendekati dari kapasitas output dari modul surya atau lebih besar. Oleh karena itu untuk memenuhi kebutuhan, maka inverter yang digunakan yaitu merek Sunny Tripower 10000TLEE-JP-10, sebanyak 1 unit. Dapat dilihat pada Tabel 4.8 spesifikasi data dari Sunny Tripower 10000TLEE-JP-10 sebagai berikut:

Tabel 4.8 Spesifikasi Inverter Sunny Tripower 10000TLEE-JP-10

Technical Data	Sunny Tripower 10000TLEE-JP-10	Sunny Tripower 10000TLEE-JP-11
Input (DC)		
Max. DC power (@ $\cos \varphi = 1$)	10,500 W	10,500 W
Max. input voltage	600 V	600 V
MPP voltage range at grid voltage (202 V) / rated input voltage	300 V to 590 V / 300 V	300 V to 590 V / 300 V
Min. input voltage / initial input voltage	300 V / 310 V	300 V / 310 V
Max. input current	36 A	36 A
Max. input current per string	36 A	36 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	1 / 6	1 / 6
Output (AC)		
Rated power (@ 202 V, 50 Hz)	10,000 W	9,900 W
Max. apparent AC power	10,000 VA	9,900 VA
Nominal AC voltage	3/PE, 202 V	3/PE, 202 V
AC voltage range	160 V to 240 V	160 V to 240 V
AC power frequency / range	50 Hz, 60 Hz / $\pm 2\%$	50 Hz, 60 Hz / $\pm 2\%$
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 202 V	50 Hz / 202 V
Max. output current	29 A	29 A
Power factor at rated power	1	1
Adjustable displacement power factor	0.8 overexcited to 0.8 underexcited	0.8 overexcited to 0.8 underexcited
Feed-in phases / connection phases	3 / 3	3 / 3
SPS Module	–	1,500 W / 101 V / 50 Hz, 60 Hz
Efficiency		
Max. efficiency / efficiency as per JIS C 8962	97.8% / 96.5%	97.8% / 96.5%

Pada perencanaan ini untuk menentukan daya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada Villa The Pejalin Eco Retreat dengan regulasi yang digunakan adalah Permen No 2 Tahun 2024 sebesar 100% dari daya yang terpasang yaitu menggunakan rumusan sebagai berikut :

$$PLTS = S \times 100\%$$

Keterangan :

PLTS : Daya PLTS

S : Daya PLN yang terpasang di lokasi

100% : Regulasi yang digunakan dalam perencanaan ini

$\text{Cos } \varphi$: Faktor Daya (0,85) Standar PLN

$$PLTS = S \times 100\%$$

$$PLTS = 10,600\text{VA} \times 0,85 \times 100\%$$

$$PLTS = 9,010 \text{ Watt}$$

Dari perhitungan diatas maka diketahui daya yang akan direncanakan pada Villa The Pejalin Eco Retreat ini sebesar 9,010 Watt atau 100% dari daya terpasang. Tahapan selanjutnya adalah dalam penelitian ini jumlah modul surya yang dibutuhkan dalah 20 unit.

Berdasarkan perhitungan maka dapat dihitung keperluan Luas lahan yang dibutuhkan untuk pemasangan modul surya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Total Luas Modul Surya} = \text{Luas 1 unit modul surya} \times \text{jumlah modul surya.}$$

$$\text{Total Luas Modul Surya} = (2,073 \text{ m} \times 1,133 \text{ m}) \times 20$$

$$\text{Total Luas Modul Surya} = 2,348709 \times 20$$

$$\text{Total Luas Modul Surya} = 46,97418 \text{ m}^2$$

$$\text{Total Luas Modul Surya} = 47 \text{ m}^2$$

Konfigurasi modul surya, baik yang disusun secara seri maupun paralel, sangat penting dalam perencanaan sebuah PLTS. Hal ini bertujuan untuk mengetahui nilai tegangan dan arus yang mengalir dari modul surya ke sistem inverter. Pada perencanaan ini modul surya disusun secara seri dan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

Diketahui :

$$\text{Open Circuit Voltage (Voc) Modul} = 45,55 \text{ V}$$

$$\text{Operating Voltage (Vmpp)} = 38,38 \text{ V}$$

$$\text{Operating Current (Impp)} = 13,03 \text{ A}$$

$$\text{Max. Input Current Inverter (A)} = 15 \text{ A}$$

$$\text{Min. DC In Voltage Inverter (V)} = 100 \text{ V}$$

$$\text{Max. DC In Voltage Inverter (V)} = 600 \text{ V}$$

Rangkaian seri minimum dan maksimal dapat dicari menggunakan persamaan sebagai berikut.

1) Rangkaian Seri Minimal

$$\text{R. Seri Minimal} = \frac{V_{\min \text{ inverter (V)}}}{V_{\text{oc Modul (V)}}$$

$$\text{R. Seri Minimal} = \frac{100V}{45.55V} = 2,19 = 2 \text{ unit sudah masuk}$$

2) Rangkaian Seri Maksimal

$$\text{R. Seri Maksimal} = \frac{V_{\max \text{ inverter (V)}}}{V_{\text{mp Modul (V)}}$$

$$\text{R. Seri Maksimal} = \frac{600V}{38.38V} = 15,63 = 16 \text{ unit}$$

Berdasarkan hasil perhitungan konfigurasi seri modul surya dapat diketahui bahwa dalam penelitian ini menggunakan dua inverter dimana satu unit inverter dapat menampung modul surya yang dirangkai secara seri sebanyak 10 unit modul surya dan dirangkai 2 paralel pada perencanaan ini hanya menggunakan 20 panel surya untuk memenuhi konfigurasi 100% Villa The Pejalin Eco Retreat. Untuk total tegangan (V_{mpp}) dan arus (I_{mpp}) yang dapat dihasilkan oleh modul surya yang telah dirangkai secara seri dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$V_{mpp} (V) = V_{mpp} \times \text{jumlah seri}$$

$$V_{mpp} (V) = 38,38 \text{ V} \times 10$$

$$V_{mpp} (V) = 383,8 \text{ V}$$

$$I_{mpp} (I) = I_{mpp} \times \text{jumlah paralel}$$

$$I_{mpp} (I) = 13,03 \text{ A} \times 2$$

$$I_{mpp} (I) = 26,06 \text{ A}$$

Berdasarkan perhitungan, tegangan total (V_{mpp}) dari modul surya yang akan diterima oleh inverter adalah sebesar 383,8 V, sedangkan arusnya adalah 26,06 A.

Sistem proteksi atau pengaman sangat penting dalam instalasi listrik untuk melindungi komponen atau peralatan dari kerusakan akibat lonjakan tegangan dan arus lebih. Setiap string modul surya perlu dilindungi dengan perangkat proteksi string, khususnya jika kotak penggabung (combiner box) menghubungkan lebih dari dua string secara paralel. Pada penelitian ini, konfigurasi yang diterapkan adalah 10 string yang terhubung secara seri dan 2 string yang terhubung secara paralel.

1. Pemilihan Rating Pengaman

Dalam memilih rating pengaman, arus pengaman Harus 1,25 kali lipat dari arus total pada string modul fotovoltaik yang terhubung. Pada penelitian ini, dengan dua string yang diketahui memiliki nilai I_{sc} modul surya sebesar 13,90 A, rating pengaman dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 2 \text{ String} &= 2 \times 1,25 \\
 &= 13,90 \text{ A} \times 2,5 \\
 &= 34,75 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan rating pengaman yang telah dilakukan di dapat nilai rating pengaman pada string adalah sebesar 34,75 A dan rating pengaman yang akan digunakan sebesar 40A MCB DC (tersedia di pasaran).

1. Pemilihan Rating Pengaman Pada Inverter

Pemilihan rating pengaman untuk inverter akan menggunakan pengaman proteksi arus AC, dikarenakan agar dapat memutuskan gangguan arus lebih keluaran dari masing masing inverter menuju ke panel MDP (*Main Distribution Panel*). Nilai arus keluaran dari inverter diperoleh dari data yang tertera pada spesifikasi inverter (*output current*) yaitu sebesar 29 A. Berdasarkan teori yang ada bahwa untuk rating pengaman arus harus 1,25 kali lebih tinggi dari arus keluaran yang mengalir, maka diperoleh nilai arusnya sebesar 36,25 A dan untuk rating pengaman inverter yang digunakanyaitu MCB AC 40 A.

2. Pemilihan Kabel

Pemilihan kabel harus diperhatikan dalam rangkaian instalasi, pada penelitian ini kabel yang digunakan pada setiap string modul surya menuju inverter sama dikarenakan arus yang mengalir sama. Diketahui nilai arus yang mengalir setiap string sebesar 13,03 A maka kabel yang akan digunakan adalah kabel Slocable PV1-F Twin Core 2x4mm².

Tabel 4.7 Spesifikasi *Slocable* PV1-F Series

Size	Cross Section	Outer Diameter	Max. DC Resistance at 20°C	Rated Current
	mm ²	mm ²	Ω/km	A
2x4.0mm ²	4.00mm ²	6.2x12.5	4,97	50A

Pemasangan inverter akan diposisikan berdekatan dengan panel MDP (*Main Distribution Panel*) dengan jarak dari modul surya menuju inverter kurang lebih (\pm) 25m sehingga panjang kabel yang dibutuhkan sepanjang (\pm) 35m. Berdasarkan hal tersebut, maka dapat dihitung nilai dari drop tegangan (Voltage Drop) dari kabel yang digunakan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Vd = (Isc \times L \times Rc) / Vmp \times 1000$$

Keterangan :

Vd = Voltage drop (V)

Isc = Arus Short Circuit (A)

L = Panjang kabel (m)

Rc = Resistansi kabel (Ω /km)

Vmp = Tegangan mpp array (V)

$$Vd = (Isc \times L \times Rc) / \times 1000$$

$$Vd = (14,46 \times 35 \times 4,97) / 1000$$

$$= 2527,191 / 1000$$

$$= 2,5272 \text{ V}$$

Presentase Drop

$$= Vd / Vmp \times 100\%$$

$$= 2,5272 / 38,38 \times 100\%$$

$$= 0,065 \%$$

Berdasarkan perhitungan drop tegangan (voltage drop) didapatkan nilainya sebesar 0,065 %, hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa nilai dari drop tegangan yang baik untuk kabel yang digunakan tidak melebihi dari 1%.

Berdasarkan perencanaan kapasitas PLTS yang dibangkitkan yaitu untuk memenuhi kebutuhan energi listrik, dimana kapasitas yang dibangkitkan adalah sebesar 10,00 kWp untuk daya yang sebelumnya terpasang yaitu sebesar 10,600VA tidak perlu

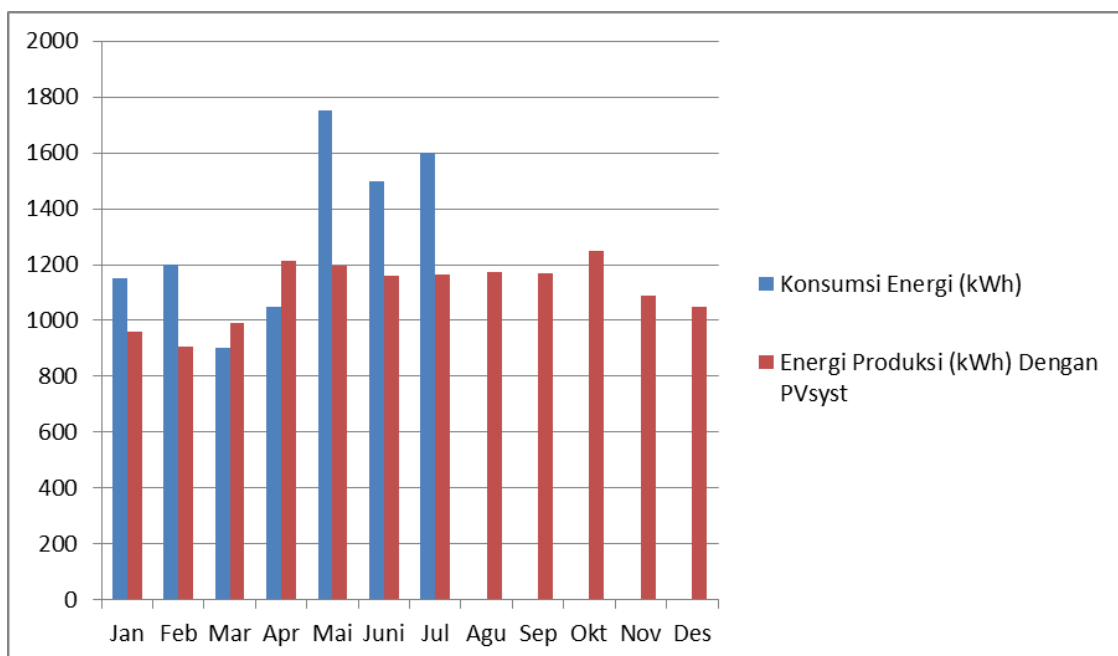
diganti atau tetap digunakan karena berdasarkan PERMEN ESDM No.2 Tahun 2024”.

Pada perencanaan PLTS atap di Villa The Pejalin Eco Retreat dapat dilihat pada Tabel 4.9 perbandingan produksi energi PLTS dengan konsumsi energi bulanan PLTS atap di Villa The Pejalin Eco Retreat.

Tabel 4.9 Perbandingan Konsumsi Energi dan Produksi Energi

10.600 VA		
Bulan-Tahun	Konsumsi Energi (kWh)	Energi Produksi (kWh) Dengan PVsyst
Jan 24	1150	961
Feb 24	1200	907
Mar 24	900	992
Apr 24	1050	1214
Mai 24	1750	1195
Juni 24	1500	1159
Jul 24	1600	1163
Agu 24	-	1172
Sep 24	-	1169
Okt 24	-	1251
Nov 24	-	1088
Des 24	-	1050
Total	4850	13320

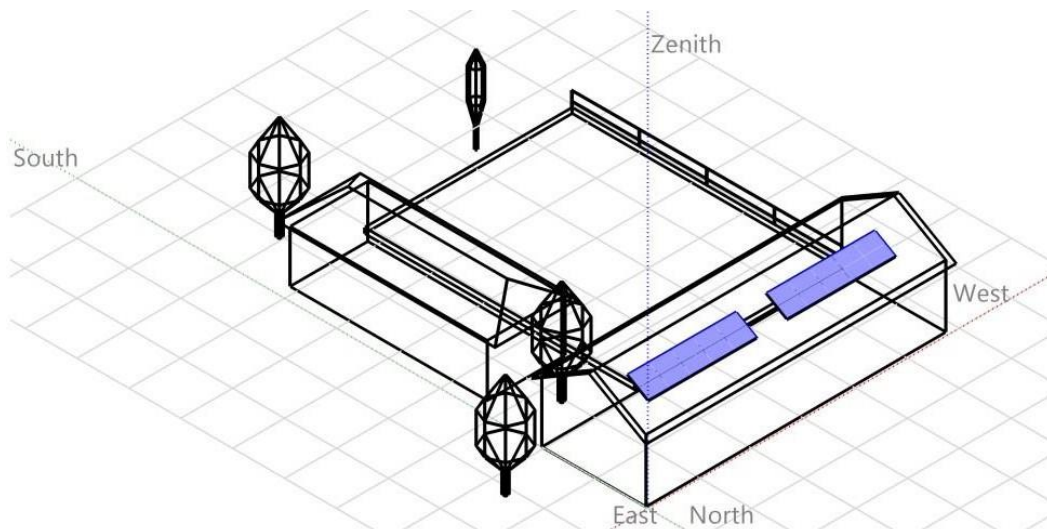
Berdasarkan Tabel 4.9 maka diperoleh grafik perbandingan konsumsi energi dengan produksi energi PLTS di Villa The Pejalin Eco Retreat. Dapat dilihat pada



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Konsumsi Energi dengan Produksi Energi

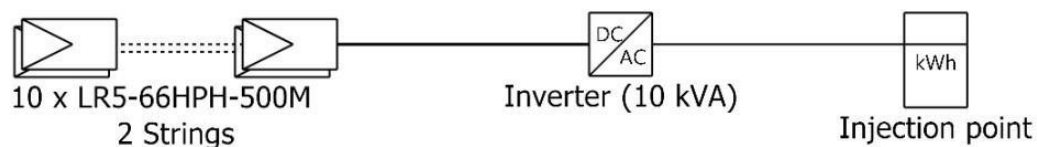
Pada Gambar 4.5 dapat dilihat grafik perbandingan konsumsi energi dengan produksi energi yang dihasilkan oleh PLTS di Villa The Pejalin Eco Retreat. Berdasarkan pada Tabel 4.9 total produksi energi yang dihasilkan selama setahun yaitu sebesar 13,320 kWh/Years.

Posisi panel surya yang direncanakan pada Villa The Pejalin Eco Retreat ini diposisikan di atas atap villa menghadap ke utara dan barat dengan kemiringan 30°.



Gambar 4.6 Posisi Panel Surya

Inverter yang digunakan di perencanaan ini adalah inverter dengan merk SMA Sunny Boy 5.0 kapasitas maksimum sebesar 500 VDC – 280 VAC yang nantinya diposisikan berdekatan dengan MDP (*Main Distribution Panel*). Berikut adalah gambar blok diagram dari perencanaan PLTS atap Villa The Pejalin Eco Retreat.



Gambar 4.7 Wiring Diagram PLTS Atap

4.3 Analisis Ekonomis Perancangan PLTS Atap

4.3.1 Menghitung LCC.

Life Cycle Cost mencakup biaya investasi awal ditambah dengan biaya operasional dan pemeliharaan (O&M), yang dipengaruhi oleh tingkat diskon selama periode proyek. Biaya investasi PLTS ini meliputi biaya-biaya seperti:

Biaya yang diperhitungkan meliputi biaya untuk komponen PLTS, biaya rak penyangga modul PV, serta biaya instalasi PLTS.

Tabel dibawah ini menunjukkan besarnya biaya investasi awal untuk PLTS yang diperlukan didalam perencanaan PLTS Atap *On Grid* pada kandang Villa The Pejalin Eco Retreat. Berikut ini adalah komponen PLTS atap On-Grid dan daftar harga yang digunakan direncanaan ini dapat dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Daftar Harga Komponen PLTS Atap *On-Grid* yang direncanakan

No	Deskripsi	Unit	Unit	Harga	Total Harga
1	Si mono LR5 66 HPH 500M	Pcs	20	Rp 2,000,000	Rp 40,000,000
2	Sunny Tripower 10000TLEE-JP-10	Pcs	1	Rp 25,000,000	Rp 25,000,000
3	Solar Cable 2 x 4 mm	M	25	Rp 16,000	Rp 400,000
4	Kabel NYA 25 mm	M	30	Rp 45,000	Rp 1,350,000
5	MCB DC 30 A	Pcs	1	Rp 35,000	Rp 35,000
6	MCB AC 60 A	Pcs	1	Rp 78,000	Rp 78,000
7	Box Panel 40 cmx 50 cm	Pcs	1	Rp 200,000	Rp 200,000
8	Selector Switch	Pcs	1	Rp 72,000	Rp 72,000
9	MCB DC 3 Phase 16 A	Pcs	1	Rp 465,000	Rp 465,000
10	Kabel NYY 4 x 6 mm	M	40	Rp 56,000	Rp 2,240,000
11	Rail Mounting Bracket	Pcs	20	Rp 67,000	Rp 1,340,000
12	MC4 Conector	Pcs	25	Rp 10,000	Rp 250,000
13	Jasa Instalasi				Rp 6,999,000
				Total	Rp 78,429,000

Investasi Awal (II) : Rp 78,429,000

Umur Investasi (n) : 25 Tahun Tingkat

Diskon (i) : 6,25%

(Bank Indonesia, Agustus 2024)

Produksi Energi/tahun : 13,320

kWh/yr

Setelah mendapatkan produksi energi/tahun disini kita bisa mendapatkan jumlah pemasukan selama 1 tahun dengan cara menggunakan rumus dibawah ini :

$$\begin{aligned}
\text{Harga jual listrik} &= \text{Rp } 1,699,53 / \text{kWh} \\
&(\text{Kapasitas daya listrik PLN yang terpasang sebesar } 10,600 \text{ VA dengan} \\
&\text{golongan R-3/TR}) \\
\text{Total Pemasukan} &= \text{Produksi Energi/Tahun} \times \text{Harga Jual Listrik} \\
\text{Total pemasukan} &= 13,320 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1,699,53 / \text{kWh} \\
\text{Total pemasukan} &= \text{Rp } 22,637,739,6 \\
&= \text{Rp } 22,637,739
\end{aligned}$$

Dari produksi energi PLTS atap sebesar 13,320 kWh/yr didapatkan total pemasukan selama setahun sebesar Rp. 22,637,739 Terdapat juga pengeluaran setiap tahunnya seperti biaya operasional dan maintenance, dimana pengeluaran didapatkan dengan menggunakan rumusan *Biaya Operation and Maintenance (O&M)*

$$\begin{aligned}
\text{O\&M} &= 1\% \times \text{II} \\
\text{O\&M} &= 1\% \times \text{Rp } 78,429,000 \\
\text{O\&M} &= \text{Rp } 784,290
\end{aligned}$$

Present Value O&M :

Present value O&M dapat dihitung sebagai berikut :

$$O\&Mp = O\&M \times \frac{(1 + i)^n}{i (1 + i)^n}$$

Keterangan :

$$\begin{aligned}
O\&Mp &= \text{Present Value Operasional dan maintenance} \\
n &= 25 \text{ Tahun Umur Investasi} \\
i &= 6,25\% \text{ (Tingkat Diskon)}
\end{aligned}$$

$$O\&Mp = O\&M \times \frac{(1 + i)^n}{i (1 + i)^n}$$

$$O\&Mp = (\text{Rp } 784,290) \times \frac{(1 + 0,0625)^{25}}{0,0625 \times (1 + 0,0625)^{25}}$$

$$O\&Mp = (\text{Rp } 784,290) \times \frac{26,5625}{1,66}$$

$$O\&Mp = Rp\ 784,290 \times 16,01$$

$$O\&Mp = Rp\ 12,556,4829$$

$$O\&Mp = Rp\ 12,556,482$$

Setelah mengetahui biaya investasi serta biaya operasional dan perbaikan, nilai Life Cycle Cost (LCC) dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$LCC = II + O\&Mp$$

Keterangan :

$$LCC = \text{Life Cycle Cost}$$

$$II = \text{Investasi Awal}$$

$$O\&Mp = \text{Operasional dan } maintenance\ present\ value$$

$$LCC = II + O\&Mp$$

$$LCC = Rp\ 78,429,000 + Rp\ 12,556,482$$

$$LCC = Rp\ 90,985,482$$

4.3.2 Menghitung biaya energi.

Perhitungan biaya energi (*cost of energy*) untuk sebuah PLTS ditentukan oleh biaya Life Cycle Cost (LCC), Capital Recovery Factor (CRF), dan jumlah energi yang diproduksi dalam setahun. Biaya energi (*cost of energy*) PLTS diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut :

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{A\ kWh}$$

Keterangan :

$$COE = \text{Cost Of Energy.}$$

$$LCC = \text{Life Cycle Cost.}$$

$$CRF = \text{Faktor pengembalian modal.}$$

$$A\ kWh = \text{Produksi energi pertahun.}$$

Sebelum mendapatkan hasil biaya energi (*cost of energy*) PLTS, cari terlebih dahulu nilai CRF dengan menggunakan rumusan :

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

Keterangan :

n = 25 Tahun Proyek

i = 6,25 % (Tingkat Diskon)

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

$$CRF = \frac{0,0625 \times (1 + 0,06,25)^{25}}{(1 + 0,06,25)^{25} - 1}$$

$$CRF = \frac{1,66}{26,56 - 1}$$

$$CRF = \frac{1,66}{25,56}$$

$$CRF = 0,064$$

Berdasarkan hasil perhitungan Life Cycle Cost (LCC), Capital Recovery Factor (CRF), dan estimasi energi tahunan, biaya energi (cost of energy) untuk sistem PLTS yang akan direncanakan adalah sebagai berikut:

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{A \text{ kWh}}$$

$$COE = \frac{Rp 90,985,482 \times 0,064}{13,320 \text{ kWh/yr}}$$

$$COE = \frac{Rp 5,823,070}{13,320 \text{ kWh/yr}}$$

$$COE = Rp 407,81 /\text{kWh}$$

Berdasarkan perhitungan biaya energi, biaya tersebut dapat dibandingkan dengan tarif listrik konvensional yang dikenakan oleh PLN. Dengan kapasitas daya terpasang PLN sebesar 10.600 VA untuk golongan R-3/TR dan tarif Rp 407,81 per kWh, biaya energi dari sistem PLTS yang dihitung ternyata jauh lebih murah dibandingkan dengan biaya energi dari PLN.

4.2.3 Analisis Kelayakan Investasi

Analisis kelayakan investasi bertujuan untuk menilai apakah suatu proyek layak dilakukan berdasarkan berbagai parameter. Dalam penelitian ini, digunakan empat metode untuk mengevaluasi kelayakan investasi, yaitu Net Present Value (NPV), Profitability Index (PI), Internal Rate of Return (IRR), dan Discounted Payback Period (DPP).

Investasi Awal (II)	= Rp 78,429,000
Umur Investasi (n)	= 25 tahun
Tingkat Diskon (i)	= 6,25 %
(Bank Indonesia, Agustus 2024)	
Produksi Energi/tahun	= 13,320 kWh/yr
Harga jual listrik	= Rp 1,699,53 /kWh
Total pemasukan	= Rp 22,637,739
O&M	= Rp 784,290

Tabel 4.11 Kelayakan Investasi

Tahun	Pemasukan	Pengeluaran	Net Cash Flow	DF	PVNFC	Kumulatif PVNFC
1	Rp 22,637,739	Rp 784,290	Rp 21,853,449	0,94118	Rp 20,567,950	Rp 20,567,950
2	Rp 22,637,740	Rp 784,291	Rp 21,853,449	0,88581	Rp 19,358,070	Rp 39,926,020
3	Rp 22,637,741	Rp 784,292	Rp 21,853,449	0,83371	Rp 18,219,360	Rp 58,145,380
4	Rp 22,637,742	Rp 784,293	Rp 21,853,449	0,78467	Rp 17,147,640	Rp 75,293,020
5	Rp 22,637,743	Rp 784,294	Rp 21,853,449	0,73851	Rp 16,138,950	Rp 91,431,970
6	Rp 22,637,744	Rp 784,295	Rp 21,853,449	0,69507	Rp 15,189,600	Rp 106,621,570
7	Rp 22,637,745	Rp 784,296	Rp 21,853,449	0,65418	Rp 14,296,090	Rp 120,917,660
8	Rp 22,637,746	Rp 784,297	Rp 21,853,449	0,6157	Rp 13,455,150	Rp 134,372,810
9	Rp 22,637,747	Rp 784,298	Rp 21,853,449	0,57948	Rp 12,663,670	Rp 147,036,480
10	Rp 22,637,748	Rp 784,299	Rp 21,853,449	0,54539	Rp 11,918,750	Rp 158,955,230
11	Rp 22,637,749	Rp 784,300	Rp 21,853,449	0,51331	Rp 11,217,640	Rp 170,172,870
12	Rp 22,637,750	Rp 784,301	Rp 21,853,449	0,48312	Rp 10,557,780	Rp 180,730,650
13	Rp 22,637,751	Rp 784,302	Rp 21,853,449	0,4547	Rp 9,936,737	Rp 190,667,387
14	Rp 22,637,752	Rp 784,303	Rp 21,853,449	0,42795	Rp 9,352,223	Rp 200,019,610
15	Rp 22,637,753	Rp 784,304	Rp 21,853,449	0,40278	Rp 8,802,092	Rp 208,821,702
16	Rp 22,637,754	Rp 784,305	Rp 21,853,449	0,37909	Rp 8,284,322	Rp 217,105,825
17	Rp 22,637,755	Rp 784,306	Rp 21,853,449	0,35679	Rp 7,797,009	Rp 224,903,391
18	Rp 22,637,756	Rp 784,307	Rp 21,853,449	0,3358	Rp 7,338,361	Rp 232,241,451
19	Rp 22,637,757	Rp 784,308	Rp 21,853,449	0,31605	Rp 6,906,693	Rp 239,148,144
20	Rp 22,637,758	Rp 784,309	Rp 21,853,449	0,29746	Rp 6,500,417	Rp 245,648,561
21	Rp 22,637,759	Rp 784,310	Rp 21,853,449	0,27996	Rp 6,118,039	Rp 251,766,600
22	Rp 22,637,760	Rp 784,311	Rp 21,853,449	0,26349	Rp 5,758,155	Rp 257,524,755
23	Rp 22,637,761	Rp 784,312	Rp 21,853,449	0,24799	Rp 5,419,440	Rp 262,944,196
24	Rp 22,637,762	Rp 784,313	Rp 21,853,449	0,2334	Rp 5,100,649	Rp 268,044,845
25	Rp 22,637,763	Rp 784,314	Rp 21,853,449	0,21967	Rp 4,800,611	Rp 272,845,456

Net Present Value (NPV) menghitung nilai saat ini dari aliran kas bersih dengan menggunakan faktor diskon. Teknik ini menentukan selisih antara nilai kini dari seluruh aliran kas bersih dan investasi awal yang dikeluarkan.

Faktor diskon (DF) pada tahun ke-n dapat dihitung dengan rumusan sebagai berikut ;

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

Keterangan :

NFC_t = *Net Cash Flow* periode 25 Tahun

NPV = *Net Present Value*

II = Investasi Awal

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

$$NPV = \text{Rp } 272,845,456 - \text{Rp } 78,429,000$$

$$NPV = \text{Rp } 194,416,456$$

Jadi nilai dari net present value adalah sebesar Rp 194,416,456 atau dapat dikatakan investasi layak karena Net Present Value bernilai positif. dan selanjutnya menghitung Profitability Index (PI) adalah rasio yang membandingkan total nilai kini dari seluruh aliran kas bersih dengan investasi awal. Teknik ini sering dikenal sebagai rasio manfaat biaya (benefit cost ratio). PI dihitung menggunakan rumus berikut:

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n NFC_t (1+i)^{-t}}{II}$$

Dimana :

NFC_t = *Net Cash Flow* periode 25 tahun

II = Investasi awal (*Initial Investment*)

i = Tingkat diskon.

n = Periode dalam tahun (umur investasi).

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n NFC_t(1+i)^{-t}}{II}$$

$$PI = \frac{Rp\ 272,845,456}{Rp\ 78,429,000}$$

$$PI = 3,47$$

Profitability Index yang didapatkan dalam perencanaan ini adalah sebesar 3,47 dan dapat dikatakan investasi ini dinilai layak, karena nilai *Profitability Index (PI)* lebih dari satu (>1).

Investasi ini dianggap menguntungkan, karena DPP (*Discounted Payback Period*) memiliki periode waktu lebih pendek yaitu terjadi pada tahun ke-5 dari umur investasi (*periodecut off*) yang direncanakan selama 25 tahun.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perencanaan PLTS atap di Villa The Pejalin Eco Retreat yang berlokasi di Banjar Auman, Desa Pelaga, Kecamatan Petang, Kabupaten Badung, Bali, dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem PLTS atap yang direncanakan di Villa The Pejalin Eco Retreat menggunakan konfigurasi on-grid yang terhubung dengan listrik PLN. Sistem ini memanfaatkan 20 modul surya tipe Si mono LR5 66HPH 500M, masing-masing dengan kapasitas 500 Wp. Modul-modul tersebut dihubungkan dalam konfigurasi 10 modul seri dan 2 paralel. Sistem ini didukung oleh inverter Sunny Tripower 10000TLEE-JP-10 yang memiliki kapasitas 10.000 W.
2. Panel surya dipasang di atap Villa The Pejalin Eco Retreat dengan sudut kemiringan 30°. Panel-panel tersebut dirangkai secara seri dan paralel, menghasilkan tegangan 383,8 V dan arus 26,06 A. Luas area yang dibutuhkan untuk pemasangan panel adalah 47 m². Sistem PLTS ini mampu menghasilkan total energi sebesar 13.320 kWh per tahun.
3. Investasi awal untuk pembangunan sistem PLTS atap on-grid di Villa The Pejalin Eco Retreat adalah sebesar Rp 78.429.000. Dalam jangka waktu 25 tahun, sistem ini menghasilkan pendapatan tahunan sebesar Rp 22.637.739, dengan biaya operasional dan pemeliharaan per tahun sebesar Rp 784.290. Investasi ini dinilai layak karena ROI (Return on Investment) tercapai pada tahun ke-5.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil perancangan di atas, penulis memiliki beberapa saran yang perlu diperhatikan, yaitu sebagai berikut:

1. Dalam perancangan ini, mahasiswa diharapkan untuk cermat dan fokus dalam melakukan perhitungan serta pemilihan komponen agar hasil rancangan sesuai dengan yang diinginkan.
2. Selalu prioritaskan Kesehatan, Keselamatan, dan Keamanan Kerja (K3) agar tetap sehat, aman, dan sejahtera selama pengambilan data di lapangan, sehingga proses pengerjaan skripsi dapat berjalan dengan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dimas Dimas, I Nyoman Satya Kumara I Nyoman Satya Kumara, And I Wayan Sukerayasa, „Perancangan Plts On Grid Sebagai Sistem Catu Daya Kawasan Jatiluwih“, *Jurnal SPEKTRUM*, 10.4 (2023), P. 152, Doi:10.24843/Spektrum.2023.V10.I04.P19.
- [2] Hendi Bagja Nurjaman and Trisna Purnama, „Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Solusi Energi Terbarukan Rumah Tangga“, *Jurnal Edukasi Elektro*, 6.2 (2022), pp. 136–42, doi:10.21831/jee.v6i2.51617.
- [3] Allan Ardiansyah, I Nyoman Setiawan, and I Wayan Sukerayasa, „Perancangan Plts Atap on Grid System Pada Kantor Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Penelitian Dan Pengembangan Kota Probolinggo“, *Jurnal SPEKTRUM*, 8.4 (2022), p. 200, doi:10.24843/spektrum.2021.v08.i04.p23.
- [4] Gallant Pradika, Ida Ayu Dwi Giriantari, and I Nyoman Setiawan, „Potensi Pemanfaatan Atap Tribun Stadion Kapten I Wayan Dipta Gianyar Sebagai PLTS Rooftop“, *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 19.2 (2020), p. 225, doi:10.24843/mite.2020.v19i02.p15.
- [5] Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, and Universitas Trisakti, „Kagoshimaken Kōritsu Shō Chūgakkō Kyōshokuin Chōki Jinji Idō No Hyōjun.“, 1974, pp. 1–11.
- [6] "Solar Energy Perspectives: Executive Summary" (PDF). *International Energy Agency. 2011*. Diarsipkan (PDF) dari versi asli tanggal 2011-12-03. Diakses tanggal 2013-11-08. https://id.wikipedia.org/wiki/Energi_surya.
- [7] cristiano Samsurizal,kartika tresya mauriraya,miftahul fikri,nurmiati pasra, „Buku PLTS.Pdf“, 2021.
- [8] M. P. M. Tas and W. G. van Sark, “Experimental repair technique for glass defects of glass-glass photovoltaic modules–A techno-economic analysis,” *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 257, p. 112397, 2023.
- [9] R. Rafli, J. Ilham, and S. Salim, “Perencanaan dan Studi Kelayakan PLTS Rooftop Pada Gedung Fakultas Teknik UNG,” *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 8–15, 2022.
- [10] H. Hasan, “perancangan pembangkit listrik tenaga surya di pulau Saugi,” *Jurnal riset dan teknologi kelautan*, vol. 10, no. 2, pp. 169–180, 2012.
- [11] A. Ardiansyah, I. N. Setiawan, and I. W. Sukerayasa, “Perancangan Plts Atap On Grid System Pada Kantor Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Penelitian Dan

Pengembangan Kota Probolinggo,” *Jurnal SPEKTRUM Vol*, vol. 8, no. 4, 2021.

- [12] P. S. Ningsih, “Pengukuran Tegangan, Arus, Daya pada Prototype PLTS Berbasis Mikrokontroler Arduin Uno,” *SainETIn: Jurnal Sains, Energi, Teknologi, dan Industri*, vol. 5, no. 1, pp. 8–16, 2020.
- [13] Asrori Asrori, Achmad Fajar Ramdhani, Pipit Wahyu Nugroho, dan Irwan Heryanto Eryk, “Kajian Kelayakan Solar *Rooftop On-Grid* Untuk Kebutuhan Listrik Bengkel Mesin di Polinema”, *ELKOMIKA, Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik ELEktronika*, vol. 10, no. 4, 2022
- [14] Yusuf Adi Nugroho, “Analisis Tekno-Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Di PT Pertamina (Persero) Unit Pengolahan IV Cilacap”, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016, [Online]. Available : https://repository.its.ac.id/76304/1/2414105009-Undergraduate_Thesis.pdf
- [15] Rahwanda, Yoga Satria Putra, dan Riza Adriat, “Pemetaan dan Estimasi Potensi Energi Matahari di Kota Pontianak”, *PRISMA FISIKA*, vol. 10, no. 3, 2022
- [16] Rafli, Jumiati Ilham, dan Sardi Salim, “Perencanaan dan Studi Kelayakan PLTS *Rooftop* Pada Gedung Fakultas Teknik UNG”, *Jambura Jurnal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 4, no. 1, 2022
- [17] Eriko Arvin Karuniawan, „Analisis Perangkat Lunak PVSYST, PVSOL Dan HelioScope Dalam Simulasi Fixed Tilt Photovoltaic“, *Jurnal Teknologi Elektro*, 12.3 (2021), p. 100, doi:10.22441/jte.2021.v12i3.001.
- [18] M. Naim And S. Wardoyo, “Dinamika Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Rancangan Sistem Kelistrikan Plts On Grid 1500 Watt Dengan Back Up Battery Di Desa Timampu Kecamatan Towuti,” Vol. 8, No. 2, 2017.
- [19] F. Baharsyah, S. #2, And M. Gapy, “Analisis Pengaruh Perubahan Suhu Lingkungan Terhadap Kapasitas Pembawa Arus Pada Kabel Tegangan Menengah,” 2018.
- [20] Ds New Energy, “Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Efisiensi Dan Output Panel Surya,” 2019.
- [21] E. A. Karuniawan, “Analisis Perangkat Lunak Pvsyst, Pvsol Dan Helioscope Dalam Simulasi Fixed Tilt Photovoltaic,” *Jurnal Teknologi Elektro*, Vol. 12, No. 3, P. 100, Oct. 2021, Doi: 10.22441/Jte.2021.V12i3.001.

