

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelian Yang Relevan

Pada penulisan skripsi ini, penulisan melakukan studi literatur. Sejumlah penelitian terdahulu telah menggunakan HelioScope untuk merancang sistem PLTS atap di wilayah tropis, namun sangat sedikit yang membandingkan estimasi desain tersebut dengan produksi aktual diAtap bangunan perkantoran seperti pada gedung RA Mampang. Terdapat beberapa dari referensi tersebut yang berhubungan dengan pembahasan, sebagai berikut :

Berdasarkan penelitian [1] yang berjudul Studi Kelayakan Pemanfaatan Energi Matahari Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Berdasarkan isu besar tentang tata-kelola energi nasional dan arah serta sasaran KEN tersebut di atas, pengembangan Energi Baru Terbarukan (EBT) sebagai energi alternatif utama Indonesia adalah mutlak untuk terus dijalankan. Salah satu jenis energi terbarukan yang sangat potensial untuk dikembangkan adalah energi surya. Keuntungan utama dari pengembangan energi surya di Indonesia adalah tentu saja karena potensinya yang sangat baik, yakni rata-rata 4,8 kWh/m²/hari. Disamping itu, pesatnya perkembangan teknologi konversi energi surya menjadi energi listrik (yaitu: Pembangkit Listrik Tenaga Surya / PLTS) sehingga harganya pun menjadi relatif lebih murah. Energi fotovoltaik telah mengalami pertumbuhan luar biasa dalam hal implementasi di fasilitas untuk pasokan listrik di daerah pedesaan dan untuk pengiriman energi ke jaringan. Posisi relatif dari panel tetap dapat menghadirkan masalah berbagai jumlah bayangan di antara mereka, yang dapat mengurangi energi keseluruhan yang dihasilkan dari susunan panel fotovoltaik pada tanggal dan waktu tertentu, di samping masalah di masing-masing panel itu sendiri. Metode yang ada menghitung jarak antara deretan panel PV menggunakan ketinggian tetap matahari, sehingga sinar selalu menyerang tegak lurus dengan panel, sehingga membatasi durasi penguatan matahari hingga 4 jam. Diperlukan metode yang dapat mengoptimalkan atau meminimalisasi jarak antara deretan panel fotovoltaik. Metode yang diusulkan didasarkan pada perhitungan yang tepat dari bayangan panel untuk posisi yang berbeda dari matahari, yang tergantung pada garis lintang fasilitas, sepanjang hari dan untuk semua jam yang direncanakan dari keuntungan matahari. Setiap daerah di Indonesia memiliki karakteristik pengaruh bayangan pada PV arrays sehingga mempengaruhi output dari sistem, sehingga untuk mendeteksi efek tersebut digunakan metode binary.

Berdasarkan Penelitian [2] yang berjudul Unjuk Kerja Sistem PLTS 324 kWp Dengan Analisis Efisiensi Dan Rasio Performa Menggunakan Metode Monitoring Tiga Waktu Pada PT. ZZZ Pembangkit yang menghasilkan energi listrik dari energi surya dikenal sebagai pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Dengan menggunakan efek fotoelektrik, sistem photovoltaic (PV) mengubah cahaya surya langsung menjadi listrik. Ini adalah jenis energi terbarukan, terutama energi surya, yang ramah lingkungan dan dapat diakses secara gratis. Terletak di antara 6°LU-11°LS dan 95°BT 141°BT, Indonesia sangat cocok untuk dikembangkan pembangkit listrik tenaga surya ini. Karena berada di garis khatulistiwa, Indonesia adalah negara tropis dengan pancaran sinar matahari rata-rata 7 jam perhari dan puncak penyinaran sinar matahari maksimum setiap hari adalah 4,5 jam. Ketika energi surya dikembangkan, ada banyak keuntungan termasuk emisi rendah, tetapi biaya membangun pembangkit masih tinggi. Saat ini, banyak perusahaan mulai mengembangkan dan menggunakan energi surya sebagai penyuplai sumber daya mereka, salah satunya PT. ZZZ. Sistem pembangkit surya PT. ZZZ memiliki kapasitas 324 kWp dan digunakan untuk menyuplai energi listrik yang digunakan Mitra 10 Cibubur, Gunung Putri, Bekasi. Sistem pembangkit ini terhubung langsung ke jaringan Perusahaan Listrik Negara (PLN), yang berarti bahwa sistem PLTS Mitra hanya dapat berfungsi sebagai penyuplai dan tidak sepenuhnya membantu dalam menghasilkan energi listrik. Sebelum PLTS dibangun, satu-satunya sumber daya energi yang digunakan adalah bersumber dari jaringan PLN. Setelah dioperasikan sistem PLTS, terdapat dua sumber daya listrik, yakni dari jaringan PLN dan PLTS. Pada tahun 2023, sistem PLTS ini menghasilkan ratio performa sebesar 65,6%, nilai tersebut sudah dibawa standar, berdasarkan SNI IEC TS 62446 : 3 : 2017, ratio performa dikatakan memenuhi standarisasi sebesar 70% hingga 100%. Sehubungan belum dilakukan pemeliharaan yang dilakukan PT. ZZZ pada sistem PLTS selama beroperasi dari tahun 2021 hingga saat ini, sehingga tidak ada data lapangan yang bisa diketahui. Hal tersebut mengakibatkan performa belum diketahui dan belum jelas apakah sistem pembangkit ini beroperasi dengan efisien. Hal ini memerlukan penelitian pada efisiensi unjuk kerja PLTS berdasarkan iradiasi variasi beban listrik yang digunakan oleh PLTS pada PT. ZZZ.

Berdasarkan penelitian Jurnal [3] yang berjudul Analisis daya pada Panel Surya di Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop On Grid Kapasitas 30 KVA di Gedung Kantor PT. Energi Listrik Batam penelitian ini membahas Tentang Penelitian berlangsung pada sistem pembangkit listrik tenaga surya rooftop on grid milik PT. Energi Listrik Batam yang dibangun dengan tujuan penghematan biaya konsumsi energi listrik pemakaian sendiri gedung kantor. Sistem PLTS ini berkapasitas 30 KVA dengan terkoneksi pada jaringan listrik PLN (on grid),

sejak berhasil melalui tahapan commissioning PLTS ini telah menghasilkan energi listrik sejumlah kurang lebih 80.000 Kwh. Sampai saat ini masih beroperasi mensuplai listrik kebutuhan gedung kantor berlantai 4 dengan posisi instalasi panel surya berada di lantai 4 dan ruang sistem kelistrikan PLTS berada di lantai 1 (Pamor Guntoro dkk 2022).

Berdasarkan Penelitian Jurnal yang berjudul [4] Analisis Pengaruh Suhu Panel Surya Terhadap Output Panel Performance. Penelitian ini membahas tentang pengaruh suhu operasi panel surya terhadap kinerja dan daya keluaran (output) yang dihasilkan. Fokusnya adalah menganalisis bagaimana kenaikan suhu panel mempengaruhi parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, dan daya, serta bagaimana hal ini berdampak pada efisiensi konversi energi secara keseluruhan. Suhu panel yang tinggi secara signifikan menurunkan tegangan keluaran, yang pada akhirnya mengurangi daya total yang dihasilkan, meskipun arus keluaran sedikit meningkat. Penelitian menggunakan dua pendekatan: simulasi dengan software PVsyst dan eksperimen langsung di luar ruangan (di Palangka Raya) dengan mengukur suhu panel menggunakan termometer infrared. Kinerja panel tidak hanya bergantung pada suhu, tetapi juga pada intensitas radiasi matahari. Output tertinggi dihasilkan dari kombinasi radiasi matahari yang tinggi dan suhu panel yang rendah. Iklim yang dingin dan cerah merupakan kondisi ideal untuk instalasi sistem tenaga surya skala besar karena memaksimalkan output daya dan efisiensi. Hasil penelitian ini ialah Peningkatan suhu panel sebesar 10°C menyebabkan penurunan daya keluaran sekitar 4%. Daya maksimum (101,7 W) dicapai pada suhu 20°C , sedangkan daya minimum (85,6 W) pada suhu 60°C . Output arus tertinggi (4,8 A) tercatat pada puncak radiasi matahari (siang hari) dengan suhu panel $52,5^{\circ}\text{C}$. Namun, daya keluaran maksimum justru tidak tercapai pada suhu tertinggi karena penurunan tegangan. Daya output teramati mencapai 59,04 W pada $52,5^{\circ}\text{C}$. Efisiensi tertinggi (15,43%) dicapai pada kondisi mendekati Standar Test Condition (STC), yaitu suhu 25°C dan radiasi 1000 W/m^2 . Efisiensi turun menjadi 12,27% ketika suhu panel mencapai 65°C . kesimpulan utama adalah Suhu panel memiliki pengaruh kritis dan negatif terhadap efisiensi dan daya keluaran sistem tenaga surya. Untuk mengoptimalkan kinerja, diperlukan rekayasa desain seperti sistem pendingin, terutama di lokasi dengan iklim panas (Asrori dkk 2024).

Selanjutnya Berdasarkan Penelitian Jurnal [5] yang berjudul Analisis Efisiensi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan. Penelitian ini membahas tentang analisis kinerja dan efisiensi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) skala kecil, dengan fokus pada dua komponen utama: panel surya dan inverter. Tujuannya adalah untuk mengetahui seberapa efisien sistem PLTS dalam mengonversi energi matahari menjadi

energi listrik yang siap pakai. Penelitian menggunakan sistem PLTS yang terdiri dari panel surya 50 WP, solar charge controller, baterai 12V/45Ah, dan inverter 300W untuk menyalakan beban lampu 9W. Pengambilan data dilakukan dengan mengukur tegangan dan arus pada setiap komponen selama 5 jam (10.00-14.00 WITA) menggunakan multimeter. Efisiensi dihitung dengan membandingkan daya output dengan daya input pada panel surya dan inverter. Untuk panel surya, perhitungan juga mempertimbangkan intensitas radiasi matahari standar (1000 W/m^2) dan Fill Factor. Efisiensi sistem dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari, kondisi cuaca, dan kinerja masing-masing komponen. Kesimpulan Utama adalah Sistem PLTS skala kecil dapat berfungsi dengan baik, namun memiliki efisiensi keseluruhan yang masih terbatas, terutama pada panel surya. Inverter menunjukkan kinerja yang lebih baik dengan efisiensi di atas 77%. Untuk meningkatkan performa sistem, diperlukan optimasi terhadap faktor eksternal seperti penempatan panel dan perawatan komponen (Muhammad Rifaldi dkk 2023).

Photovoltaic Rooftop yang terpasang di PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pengatur Distribusi perlu dilakukan operasi dan pemeliharaan (operation and maintenance, O&M) yang teratur dan tepat guna karena dengan melakukan operasi dan pemeliharaan yang teratur, kinerja Photovoltaic Rooftop dapat dijaga dan dioptimalkan. Ini membantu memastikan bahwa sistem Photovoltaic Rooftop beroperasi pada efisiensi yang maksimal dan menghasilkan energi listrik sebanyak mungkin dari sinar matahari yang tersedia. Photovoltaic Rooftop dapat mengalami kerusakan atau penurunan kinerja seiring waktu akibat berbagai faktor seperti kondisi lingkungan, suhu, debu, dan lainnya. Pemeliharaan yang tepat dapat membantu mengidentifikasi dan mencegah kerusakan yang lebih serius, sehingga mengurangi kemungkinan downtime dan biaya perbaikan yang besar. Pemeliharaan yang teratur juga penting untuk menjaga keamanan sistem Photovoltaic Rooftop. Semakin tinggi radiasi matahari yang mengenai permukaan photovoltaic maka semakin besar pula arus listrik yang dihasilkan. Semakin pendek panjang gelombang cahaya maka semakin tinggi energi foton yang dimiliki sehingga mengakibatkan besarnya energi yang dihasilkan dan juga semakin besar arus yang mengalir [6] Ini melibatkan inspeksi terhadap komponen listrik dan mekanis, mengidentifikasi potensi risiko, dan mengambil langkah-langkah untuk mencegah kecelakaan atau masalah keselamatan lainnya. Pemeliharaan yang baik dapat memperpanjang umur pakai sistem Photovoltaic Rooftop. Dengan menjaga komponen-komponen dalam kondisi baik, sistem dapat berfungsi lebih lama dan menghasilkan lebih banyak energi selama jangka waktu yang lebih panjang. Pemeliharaan yang tepat dapat membantu menjaga efisiensi konversi energi matahari menjadi listrik. Kotoran atau kerusakan pada panel surya dapat mengurangi efisiensi konversi, sehingga pemeliharaan yang teratur

membantu meminimalkan penurunan kinerja. Pemeliharaan yang teratur dapat mengurangi biaya jangka panjang. Biaya perawatan yang rendah dapat membantu menghindari biaya perbaikan besar yang mungkin timbul karena kerusakan yang tidak terdeteksi. Dalam beberapa kasus, ada persyaratan regulasi atau aturan pemerintah yang mengharuskan operasi dan pemeliharaan yang teratur dari sistem energi terbarukan, termasuk Photovoltaic Rooftop. Dengan menjaga kinerja optimal dan umur pakai sistem Photovoltaic Rooftop, pemeliharaan yang baik dapat membantu mencapai tujuan lingkungan, seperti pengurangan emisi gas rumah kaca dan ketergantungan pada bahan bakar fosil.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya



Gambar 2. 1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah sistem yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Proses ini dilakukan dengan menggunakan panel surya atau modul fotovoltaik yang menangkap sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik melalui efek fotovoltaik. Semakin tinggi intensitas radiasi matahari (solar radiation) yang mengenai sel surya, maka semakin tinggi pula daya yang dihasilkan. Dalam kondisi sinar matahari tropis dan khatulistiwa Indonesia, PLTS merupakan salah satu teknologi pembangkit listrik yang potensial diterapkan [7]. System PLTS umumnya terdiri dari panel surya atau modul fotovoltaik yang terpasang di atas atap gedung atau lahan terbuka, inverter untuk mengubah arus searah yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus bolak balik yang dapat digunakan oleh rumah atau

gedung dan baterai untuk menyimpan energi yang dihasilkan pada saat sinar matahari tersedia untuk digunakan pada saat sinar matahari tidak tersedia seperti pada malam hari atau saat cuaca buruk. PLTS merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan semakin banyak digunakan di seluruh dunia sebagai alternatif dari sumber energi fosil yang semakin terbatas dan mahal.

2.2.2 Prinsip Kerja PLTS

Prinsip kerja PLTS terdiri dari beberapa tahapan, yaitu:

1. Penangkapan sinar matahari oleh panel surya: Panel surya terdiri dari sel-sel surya yang dapat menangkap energi matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik DC.
2. Pengubahan energi DC menjadi AC: Energi listrik DC yang dihasilkan oleh panel surya akan dikonversi menjadi energi listrik AC yang dapat digunakan oleh peralatan elektronik di rumah atau gedung.
3. Pengaturan dan pengawasan sistem: PLTS dilengkapi dengan sistem pengatur dan pengawasan untuk memastikan sistem berjalan dengan optimal dan menghindari kerusakan.
4. Penyimpanan energi: Energi yang dihasilkan oleh PLTS dapat disimpan dalam baterai untuk digunakan saat tidak ada sinar matahari yang cukup untuk menghasilkan energi listrik.
5. Sistem jaringan listrik: PLTS dapat terhubung ke jaringan listrik umum untuk menyuplai energi listrik yang tidak digunakan ke jaringan listrik umum dan menerima pasokan energi listrik dari jaringan listrik umum jika energi yang dihasilkan oleh PLTS tidak mencukupi.

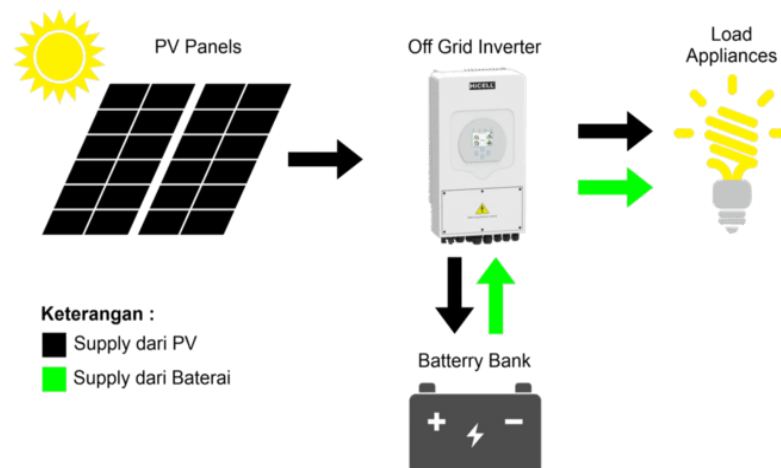
Dengan prinsip kerja yang sederhana namun efektif ini, PLTS menjadi pilihan yang populer untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

2.2.3 Konfigurasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

A. Sistem PLTS Off-Grid

Sistem PLTS Off-Grid adalah sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) mandiri yang menggunakan panel surya untuk tidak terhubung dengan jaringan listrik PLN. Sistem ini cocok untuk daerah terpencil atau lokasi yang sulit dijangkau infrastruktur Listrik.

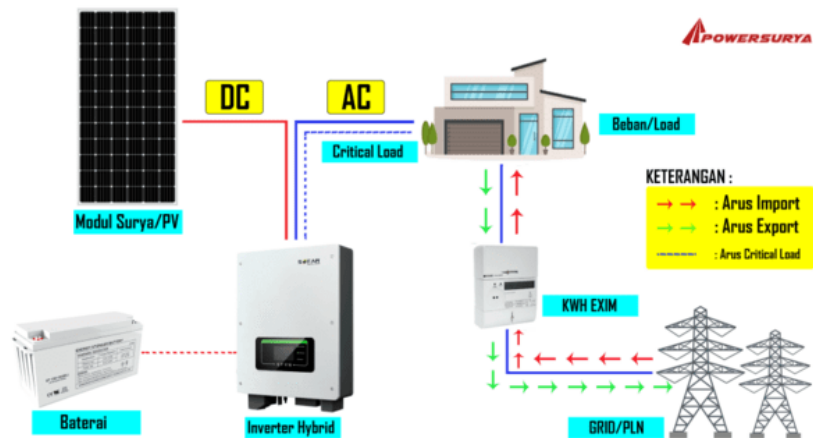
PLTS Off-Grid memiliki cara kerja dimana pada siang hari, Panel surya menghasilkan listrik yang sebagian langsung digunakan untuk beban, sebagian disimpan ke baterai melalui charge controller. Saat malam atau cuaca mendung, listrik diambil dari baterai Inverter mengubah Arus DC menjadi AC Untuk peralatan Elektronik. Dalam penggunaannya Sistem PLTS Off-Grid mempunyai kelebihan yaitu mandiri dari PLN, cocok untuk daerah terpencil, ramah Lingkungan, biaya operasional rendah setelah instalasi, dan dapat diperluas sesuai kebutuhan. Selain itu PLTS Off-Grid juga memiliki kekurangan dari segi Biaya Investasi awal tinggi, bergantung pada cuaca, memerlukan perawatan baterai dan Kapasitas terbatas dibanding Grid PLN.



Gambar 2. 2 Sistem PLTS Off-Grid

B. Sistem PLTS Hybrid

Sistem PLTS Hybrid adalah sebuah sistem Pembangkit Listrik Integratif yang menggabungkan panel surya (fotovoltaik) dengan sumber energi atau teknologi lain untuk menghasilkan pasokan listrik yang stabil dan efisien. Berbeda dengan sistem PLTS konvensional yang hanya mengandalkan matahari, sistem Hybrid dirancang untuk mengatasi Intermittensi (tidak tersedia yang fluktuatif) dari energi surya dengan memadukannya bersama sistem Penyimpanan energi (battery energy storage/BESS) dengan sumber cadangan lain seperti genset atau grid PLN.



Gambar 2. 3 Sistem PLTS Hybrid

Sebagai sebuah sistem energi, PLTS Hybrid merepresentasikan evolusi menuju desentralisasi dan resiliensi dalam ketahanan energi. Sistem ini mengeser paradigma dari ketergantungan pada satu sumber(grid) menuju optimasi multi sumber yang dikelola secara baik dan cerdas.bagi Indonesia yang memiliki potensi surya melimpah sekaligus tantangandalm pemerataan dan stabilitas jaringan listrik, adopsi dan pengembangan sistem PLTS Hybrid, didukung oleh riset dalam teknologi. Yang mana bisa menjadi salah satu pilar pentin dalam transisi energi yang berkelanjutan.

C. Sistem PLTS On-Grid

PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) adalah sebuah sistem revolusioner yang mengubah cahaya matahari sumber energi yang gratis dan melimpah langsung menjadi listrik yang siap pakai. Bayangkan sebuah teknologi yang memungkinkan Anda memetik listrik dari langit, mengubah atap rumah, lahan kosong, atau permukaan air menjadi pembangkit listrik pribadi yang bersih dan senyap (Kementerian ESDM 2023).

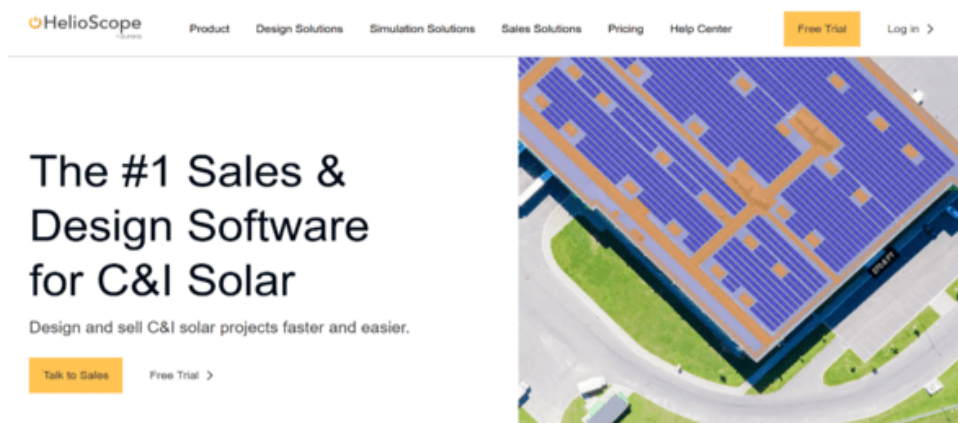


Gambar 2. 4 Sistem Plts On Grid

PLTS On-Grid adalah sistem energi surya yang terintegrasi langsung dengan jaringan listrik utama (grid) milik PLN. Sistem ini bekerja secara simbiosis mutualisme: ketika produksi listrik dari panel surya Anda berlebih, kelebihanannya dijual atau diekspor ke jaringan PLN. Sebaliknya, ketika produksi surya tidak mencukupi (pada malam hari atau saat mendung), Anda otomatis menarik listrik dari jaringan PLN. Pada sistem ini tidak menggunakan baterai untuk menyimpan energi. Jaringan listrik PLN berperan sebagai "baterai virtual" yang tak terbatas (PT PLN (Persero) 2021).

2.2.4 Software Helioscope

HelioScope adalah perangkat lunak berbasis web yang dirancang khusus untuk merancang dan mensimulasikan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PV) secara terintegrasi mulai dari layout fisik panel, analisis bayangan (shading), hingga estimasi produksi energi tahunan maupun bulanan. Model Sistem menghitung semua hubungan kelistrikan dan memodelkan keluaran medan untuk waktu tertentu di bawah serangkaian asumsi tertentu. Alih-alih memodelkan satu Modul Fotovoltaik (PV) dan mengasumsikan semua model identik, model sistem mencakup setiap Modul PV secara individual dan memungkinkan mereka untuk berinteraksi seperti yang akan terjadi dalam kenyataan [8]. Dengan HelioScope, pengguna dapat memodelkan setiap modul, kabel, inverter, dan interkoneksi secara detail bukan hanya sebagai satu blok sistem agregat sehingga prediksi performa sistem menjadi lebih akurat.



Gambar 2. 5 Software Helioscope

Tabel 2. 1 Gambaran umum tentang kegunaan helioscope dalam mendesain PLTS On-Grid.

Aspek Desain dan Simulasi	Kegunaan Helioscope
Pemodelan Situs dan Layout	Membuat model 3D atap, carport, atau ground mount. Menempatkan modul secara cepat dengan drag-and-drop, menentukan kemiringan, azimuth, dan jarak antar baris.
Analisis Bayangan (Shading)	Menganalisis dampak bayangan dari objek (cerobong, pohon) sepanjang tahun. Fitur optimisasi otomatis dapat menghapus modul yang terlalu sering tertutup bayangan untuk memaksimalkan produksi energi.
Simulasi Produksi Energi	Menghitung estimasi produksi energi tahunan (laporan 8760 jam) dengan tingkat akurasi dalam 1% dari PVsyst (standar industri). Mendukung analisis probabilistik (P90, P95) untuk studi kelayakan keuangan.
Desain Elektrik dan SLD	Memilih inverter (string atau mikroinverter) dari pustaka komponen yang luas. Software akan mengonfigurasi string secara otomatis dan menghasilkan Single Line Diagram (SLD) untuk dokumen kontrak.
Analisis Keuangan dan Proposal	Menghitung perkiraan biaya, penghematan, periode pengembalian modal (payback period), dan ROI. Membantu membuat proposal penjualan yang profesional.

2.2.5 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Konfigurasi PLTS menentukan bagaimana modul surya, inverter dan beban listrik saling terhubung dan beroperasi.

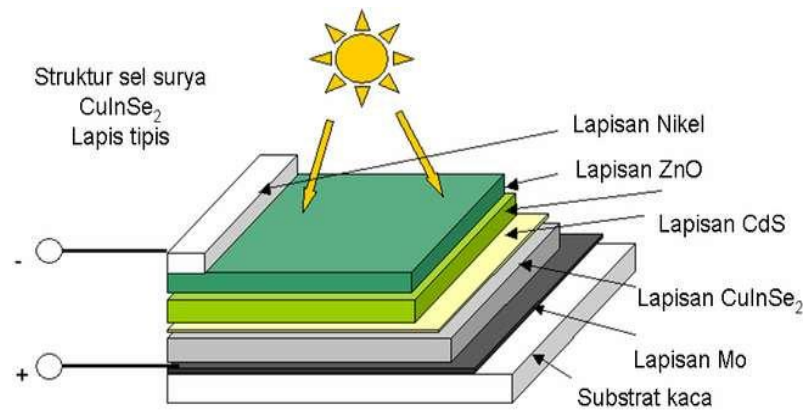
A. Sel Surya

Sel surya sering kali disebut juga Sel photovol komponen elektronik semikonduktor yang secara langsung mengubah energi dari foton cahaya Matahari menjadi energi listrik melalui efek fisika kuantum yang disebut efek fotolistrik. Dimana efek pfotovoltaic sendiri dengan cara melepas muatan positif dan muatan negatif dalam material yang padat melalui cahaya. Penyerapan Cahaya: Bahan semikonduktor dalam sel surya menyerap foton foton cahaya matahari. Ketika foton menyerap energi dari cahaya, mereka dapat merangsang elektron-elektron dalam bahan semikonduktor. Pada PLTS Atap menjadi salah satu metode pemanfaatan energi terbarukan yang didukung Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.70 Tahun 2014, tentang kebijakan energi nasional (KEN) [9]. Rangsangan energi dari foton dapat memisahkan pasangan elektron-hole (celah elektronik) dalam bahan semikonduktor. Elektron terangkat dari band valensi (tingkat energi rendah) ke band konduksi (tingkat energi tinggi), meninggalkan "hole" atau tempat kosong dalam band valensi. Sel surya adalah suatu komponen elektronika yang dapat mengubah energi surya menjadi energi listrik dalam bentuk arus searah (DC). Modul surya (fotovoltaic) adalah sejumlah sel surya yang dirangkai secara seri dan paralel, untuk meningkatkan tegangan dan arus yang dihasilkan sehingga cukup untuk pemakaian sistem catu daya beban. Untuk mendapatkan keluaran energi listrik yang maksimum maka permukaan modul surya harus selalu mengarah ke 4 | PENGENALAN PLTS matahari.

Di Indonesia, energi listrik yang optimum akan didapat apabila modul surya diarahkan dengan sudut kemiringan sebesar lintang lokasi PLTS tersebut berada. Sebagai contoh, untuk daerah yang berada di sebelah utara katulistiwa maka modul surya harus dihadapkan ke Selatan, dan sebaliknya. Selanjutnya energi listrik tersebut disimpan dalam Baterai. Baterai disini berfungsi sebagai penyimpan energi listrik secara kimiawi pada siang hari dan berfungsi sebagai catu daya listrik pada malam hari. Untuk menjaga kesetimbangan energi di dalam baterai, diperlukan alat pengatur elektronik yang disebut Battery Charge Regulator. Alat ini berfungsi untuk mengatur tegangan maksimal dan minimal dari baterai dan memberikan pengamanan terhadap sistem, yaitu proteksi terhadap pengisian berlebih (overcharge) oleh penyinaran matahari, pemakaian berlebih (overdischarge) oleh beban, mencegah terjadinya arus balik ke modul surya, melindungi terjadinya hubung singkat pada beban listrik dan sebagai interkoneksi dari komponen-komponen lainnya [10]. Pemisahan Charge: Elektron yang terangkat ke band

konduksi memiliki energi kinetik yang cukup untuk bergerak bebas melalui bahan semikonduktor. Ini menghasilkan arus listrik karena 11 pergerakan elektron ini. Pembuatan Arus Listrik: Elektron yang bergerak bebas dalam bahan semikonduktor menciptakan arus listrik. Arus ini mengalir dari area dengan "hole" di band valensi menuju area dengan elektron di band konduksi, menciptakan aliran arus listrik. Akibat pemisahan charge (elektron dan hole) yang terjadi, terbentuklah medan listrik dalam sel surya. Medan listrik ini mendorong elektron dan hole untuk bergerak ke kutub-kutub yang berbeda dalam sel surya. Inilah jantung dari semua sistem PLTS. Satu sel berukuran kecil (biasanya 5-6 inci persegi), sehingga untuk menghasilkan daya yang cukup, banyak seldirangkai menjadi sebuah modul surya (panel), dan dapat digabungkan membentuk array.

Radiasi matahari menjadi sumber utama bagi sel surya. Salah satu tujuan dari analisis sumber energi di suatu tempat adalah untuk menilai pasokan energi potensial yang dapat diterima oleh sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) terpusat yang diusulkan. Efektivitas dalam mengukur, mengkonversi, dan memproyeksikan keluaran selama dua dekade sangat bergantung pada ketepatan data dan metode pemodelan. Kecepatan di mana radiasi matahari mencapai permukaan bumi dikenal sebagai "solar irradiance" atau "insolation". Insolation adalah indikator dari energi radiasi matahari yang diterima pada area tertentu di permukaan bumi dalam jangka waktu tertentu. Unit pengukuran untuk irradiance adalah watt per meter persegi (W/m^2). Nilai irradiance matahari maksimal digunakan dalam desain sistem untuk menentukan puncak input energi. Apabila sistem mencakup penyimpanan, penting untuk memahami variasi irradiance selama periode tertentu untuk mengoptimalkan desain sistem. Selain itu, perlu diketahui berapa banyak energi matahari yang tertangkap oleh modul selama periode tertentu, seperti hari, minggu, atau tahun. Ini dikenal sebagai radiasi matahari atau irradiation. Unit pengukuran radiasi matahari adalah joule per meter persegi (J/m^2) atau watt-jam per meter persegi (Wh/m^2) [11].



Gambar 2. 6 Sel Surya

B. PV Modul

Modul surya (*Photovoltaic*) adalah kumpulan sel surya yang dirangkai seri dan juga paralel untuk meningkatkan tegangan dan arus yang dihasilkan dari intensitas cahaya sehingga cukup untuk pemakain sistem catu daya beban. Sel surya bisa dapat beroperasi secara maksimum jika temperature sel tetap normal, kenaikan temperature lebih tinggi dari temperature normal fotovoltaiik (PV akan melemahkan voltage) [12]. Untuk mendapatkan tegangan yang maksimum modul surya harus diarahkan menuju matahari dengan memaksimalkan intensitas cahaya matahari dimana tegangan yang dihasilkan oleh modul surya dapat bekerja secara maksimal pastinya. Jenis-jenis Modul surya diantaranya sebagai berikut :

1. Monocrystalline Silicon

Modul Monocrystalline Silicon adalah panel Surya yang seluruh sel penyusunannya dibuat dari silikon kristal tunggal murni. “Mono” Berarti satu, dan “Crystalline” berarti Kristal. Struktur atom yang seragam dan tidak terputus inilah yang menjadikannya generasi pertama dan paling efisien dalam teknologi fotovoltaiik komersial. Jenis modul surya ini merupakan yang paling sering dipakai hal ini disebabkan karena kelebihannya yang sangat banyak, dimana jenis modul surya ini terbuat dari silikon yang diiris tipis. Untuk kelebihannya jenis sel surya ini disebut yang paling efisien dibandingkan jenis sel yang lainnya hal ini disebabkan karena hasil yang didapatkan atau ditangkap oleh sinar matahari sebesar 15 % yang dimana jumlah ini cukup besar jika dibandingkan dengan panel surya lain.



Gambar 2. 7 Sel Surya Monocrystalline Silicon

2. *Polycrystalline Silikon*

Modul Polycrystalline Silicon, yang juga dikenal sebagai multicrystalline silicon atau poli-Si, merupakan tipe modul surya photovoltaic yang terbuat dari wafersilikon dengan struktur kristal majemuk (Multiple Crystal grains). Namun pada dasarnya masih kurang diperhatikan cara mempertahankan suhu lapisan pada permukaan sel surya (photovoltaic) yang dapat mengganggu proses efek photovoltaic yang dimana merupakan fenomena dimana energi cahaya datang, yang mengenai permukaan sel surya akan diubah menjadi energi listrik [13]. Jenis sel surya yang berikut merupakan Polycrystalline Silicon dimana pada sel jenis ini sebuah teknologi0PV dibuat menggunakan silikon yang dicairkan. Teknologi0panel0ini memiliki kelebihan dari segi susunannya yang lebih rapih dan lebih rapat. Jika dibandingkan 13 dengan pesaingnya jenis ini mempunyai efisiensi yang rendah sehingga memerlukan penampang yang lebih besar.



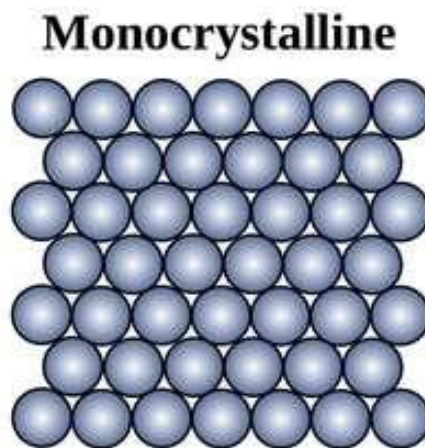
Gambar 2. 8 Sel Surya Polycrystalline Silikon

C. Perbedaan Panel Surya *Monocrystalline Silicon* dan *Polycrystalline Silikon*

Pada umumnya Panel surya Monokristalin dan polikristalin adalah jenis panel surya yang paling umum digunakan. Dalam Perbedaan utama antara keduanya terletak pada struktur dan efisiensi material yang digunakan dalam proses pembuatannya.

2. Monokristalin (*Monocrystalline*) panel surya

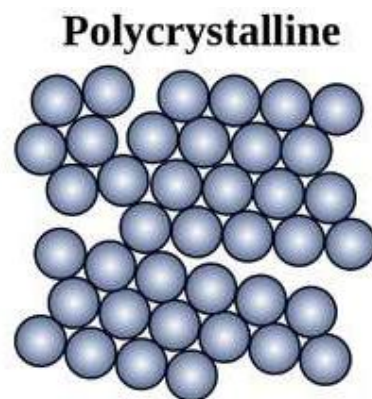
- Struktur Kristal : Inti keunggulan monokristalin terletak pada kesempurnaan struktur atomnya. Sel monokristalin dibuat dari suatu buah kristal silikon yang utuh dan kontinu. Struktur kisi kristal nya tersusun rapat, teratur dan tanpa adanya batas Butir (grain Boundaries) didalam seluruh volume material
- Efisiensi : Akibat langsung dari Struktur Sempurna hal tersebut dapat kita lihat bahwasanya efisiensi modul monokristalin komersial saat ini berkisar 18-22%, dan merupakan yang tertinggi dikelas teknologi berbasis silikon wafer. Kemudian dapat dikatakan mengapa jenis mono lebih efisien yaitu karena Penyerapan Cahaya yang Optimal serta lebih efektif, Rekombinasi yang minimal dapat dikatakan terdapat jebakan tempat elektron dan lubang bertemu kembali dan musnah tanpa menghasilkan arus dan Performa dikondisi rill, yang artinya kehilangan daya lebih sedikit ketika panel memanaskan diterik matahari. Dengan memiliki kinerja yang sedikit lebih unggul dengan kondisi cahaya lebih rendah.
- Biaya : Dari segi biaya Produksi Monokristalin lebih tinggi atau memiliki harga lebih premium yang tercermin dari pada harga modulnya.



Gambar 2. 9 Struktur Kristal Monocrydtalline

3. Polikristaline (*Polycrystalline*) Panel surya :

- Struktur Kristal : dalam Struktur polikristaline didefinisikan oleh keberadaan batas butir (grain Boundaries), yaitu area dimana berbagai kristal silikon kecil yang berorientasi acak saling bertemu. Hal tersebut merupakan hasil dari proses produksi yang lebih sederhana. Dengan terdapat proses pembentukan Silikon metalurgi (Mg-Si) yang telah dimurnikan dilelehkan dan dituang ke dalam cetakan persegi besar (ingot), lalu didinginkan secara terkontrol.
- Efisiensi : Dalam efisiensi modul polikristaline komersial saat ini berkisar 15-17%, lebih rendah dari pada monokristalin. Hal tersebut memiliki penyebab utama penurunan efisiensinya yaitu karena Kehilangan pada batas butir sehingga mengurangi arus listrik yang dapat dikumpulkan, kemurnian Material yang lebih rendah dan Koefisien suhu yang lebih buruk berkisar -0.4% hingga $-0.5\%/^{\circ}\text{C}$, yang artinya kehilangan daya sedikit lebih besar saat suhu panel meningkat di bawah terik matahari.
- Biaya : panel polikristalin lebih murah untuk diproduksi dibanding dengan monokristalin karena proses produksi yang lebih sederhana. Namun, karena efisiensi yang lebih rendah, area yang lebih besar mungkin diperlukan untuk menghasilkan jumlah energi yang sama.



Gambar 2. 10 Struktur Kristal Polycrystalline

D. Inverter

Inverter menjadi jantung sistem. Alat canggih ini mengubah listrik DC dari panel menjadi listrik arus bolak-balik (AC) yang sesuai dengan standar PLN (230V/50Hz). Inverter on-grid berfungsi layaknya jantung dalam sistem PLTS; ia mengambil energi dari modul surya dalam bentuk DC, kemudian mengubah dan menyinkronisasikannya menjadi AC yang sesuai dengan

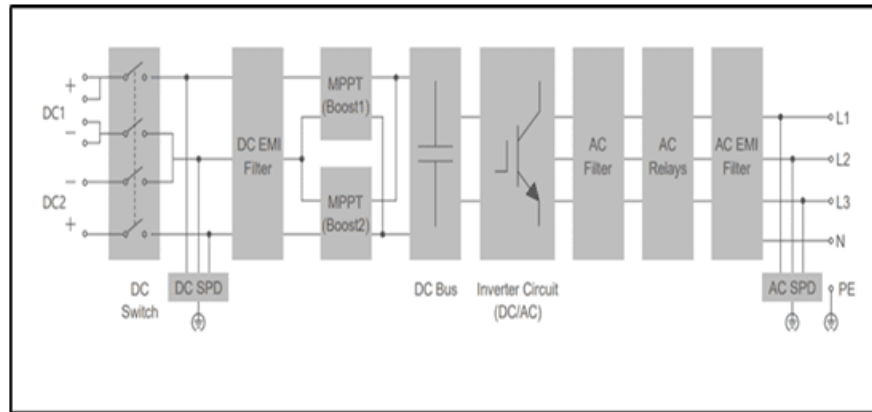
jaringan umum. Melalui fitur seperti MPPT untuk penyesuaian otomatis terhadap kondisi iradiasi dan suhu, proteksi anti-islanding untuk keselamatan, serta kemampuan monitoring real-time, inverter tidak hanya menjadi penghubung tetapi juga sensor, regulator, dan penjaga kestabilan sistem secara menyeluruh.



Gambar 2. 11 INVERTER

Prinsip kerja Inverter secara umum adalah :

- a. Gelombang DC masuk ke inverter melalui sebuah regulator tegangan yang berfungsi untuk menjaga tegangan DC agar tetap stabil.
- b. Kemudian, gelombang DC ini diubah menjadi gelombang AC oleh sebuah rangkaian yang disebut dengan osilator. Osilator ini berfungsi untuk menghasilkan sinyal AC dengan frekuensi yang diinginkan.
- c. Sinyal AC yang dihasilkan oleh osilator kemudian akan diperkuat oleh sebuah penguat daya (Power Amplifier). Penguat daya ini berfungsi untuk meningkatkan amplitudo sinyal AC agar dapat digunakan untuk menggerakkan beban (misalnya motor listrik atau peralatan elektronik).
- d. Sebelum sinyal AC ini digunakan untuk menggerakkan beban, sinyal AC ini perlu diatur agar sesuai dengan kebutuhan beban. Hal ini dilakukan oleh sebuah rangkaian kontrol yang disebut dengan inverter control circuit. Inverter control circuit akan mengontrol frekuensi, amplitudo, dan bentuk gelombang AC agar sesuai dengan kebutuhan beban.
- e. Sehingga, sinyal AC yang telah diatur oleh inverter control circuit ini digunakan untuk menggerakkan beban seperti motor listrik atau peralatan elektronik lainnya.

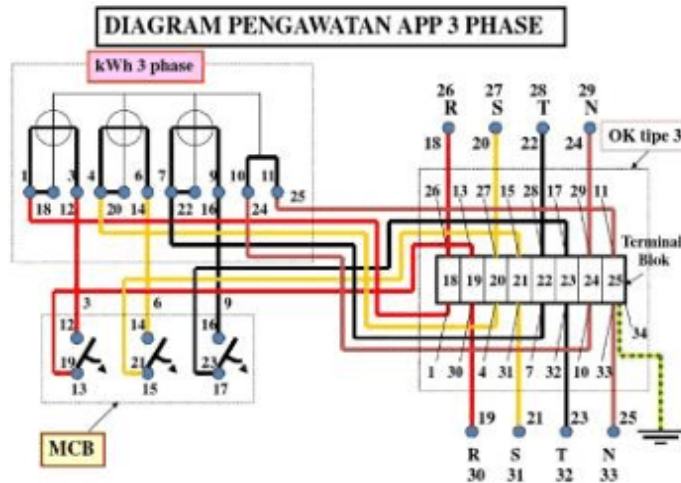


Gambar 2. 12 Skema Diagram Circuit Inverter

E. kWh Exim (Expor Impor)

Dalam penerapan energi listrik, terdapat peraturan sekma yang memungkinkan Orang memiliki sistem Panel surya atau sumber energi yang terbarukan lainnya Untuk “mengimpor” mengambil dari luar dan “mengekspor” mengirim energi yang dihasilkan ke dan dari jaringan (grid) listrik. Hal ini terutama terjadi di negara-negara yang mendukung penggunaan energi terbarukan. Kemudian berikut penjelsana lebih lanjut :

1. kWh Ekspor (energi yang diekspor): listrik yang dihasilkan dari PLTS dan dikirim ke jaringan PLTS saat produksi melebihi konsumsi yang diperlukan. Anda akan mencatat jumlah energi ini dalam kilowatt-hour (KWh) dan mendapatkan "kredit" atas energi yang Anda berikan ke jaringan.
2. kWh Impor (Energi yang Diimpor) ketika sistem PLTS yang dipasang tidak menghasilkan cukup listrik (seperti: pada malam hari atau saat Cauca Buruk), konsumen atau pelanggan dapat mengambil listrik yang bersumber dari jaringan PLN saat PLTS tidak mengahsilkan cukup listrik.
3. Net Metering (Pengukuran Bersih): Net metering adalah koteks kWh exim adalah Mekanisme perhitungan tagihan listrik untuk menggunakan PLTS On-grid, dimana energi listrik yang diekspor akan dikirim ke grid PLN akan mengurangi jumlah energi listrik yang diimpor atau dibli dari PLN dalam periode tagihan yang sama.



Gambar 2. 13 Skema kWh Meter 3 Phase

F. *Combineer Box*

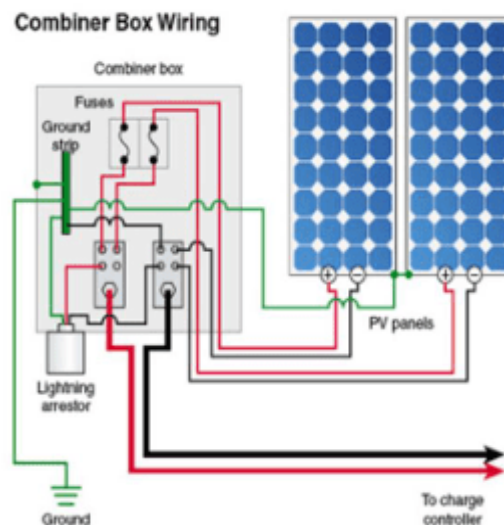
Combineer Box (Kotak penggabung) merupakan suatu komponen penting dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang menggabungkan beberapa jalur kabel dari panel surya yang mengarahkannya ke inverter atau sistem penyimpanan energi, hal tersebut bertujuan untuk menampung daya yang berasal dari beberapa panel surya dan mengirimkannya ke perangkat berikutnya dalam sistem, serta menjamin perlindungan dan pengawasan terhadap aliran listrik yang berasal dari panel-panel surya tersebut. Berikut terdapat beberapa komponen utama *Combineer Box* diantaranya :

- Input Terminal Block*: Ini adalah bagian dari combiner box yang menghubungkan kabel-kabel masukan dari panel-panel surya. Kabel-kabel ini membawa arus listrik dari setiap panel surya ke combiner box.
- Grounding and Bonding*: Komponen grounding dan bonding penting untuk mengalirkan arus listrik berlebih dan melindungi sistem dari potensi bahaya listrik dan sambaran petir.
- Fuse atau Circuit Breaker*: Sebuah komponen pengaman seperti fuse atau circuit breaker digunakan untuk melindungi sirkuit dari lonjakan arus yang berlebihan. Jika arus melebihi batas yang aman, fuse akan terbakar atau circuit breaker akan terpicu, memutus aliran listrik dan melindungi komponen lainnya dalam sistem.
- Monitoring Devices*: Beberapa combiner box memiliki perangkat pemantauan yang memantau arus listrik, tegangan, suhu, atau parameter lainnya dalam sistem. Ini

membantu operator untuk mengawasi kinerja dan memantau masalah yang mungkin terjadi.

- e. *Combiner Busbars*: Busbars adalah penghubung konduktif yang memungkinkan arus dari panel-panel surya yang berbeda untuk dikumpulkan dan dialirkan menuju inverter atau sistem penyimpanan energi. Mereka berfungsi sebagai jalur listrik utama dalam combiner box.
- f. *Surge Protection Device (SPD)*: Ini adalah perangkat pelindung yang dirancang untuk melindungi sistem dari lonjakan tegangan yang dapat terjadi karena kilatan petir atau gangguan listrik lainnya. SPD membantu mencegah kerusakan pada komponen komponen sensitif dalam sistem.

Fungsi dan kegunaan *Combiner Box*:



Gambar 2. 14 Wiring Combineer Box

- a. Pengamanan dan Keamanan: *Fuse*, *circuit breaker*, dan perangkat pelindung lainnya dalam *combiner box* melindungi sistem dari lonjakan arus dan gangguan listrik lainnya. Ini membantu mencegah kerusakan pada komponen-komponen sensitif.
- b. Penggabungan Arus: *Combining box* mengumpulkan arus dari beberapa panel surya dan mengarahkannya ke inverter atau sistem penyimpanan energi. Ini mengoptimalkan penggunaan arus listrik dan memudahkan manajemen daya.
- c. Pemeliharaan yang Mudah: *Combining box* memudahkan pemeliharaan dan perawatan sistem PLTS dengan menggabungkan koneksi dari beberapa panel surya menjadi satu titik.

- d. Pemantauan: Beberapa *combiner box* dilengkapi dengan perangkat pemantauan yang memungkinkan operator untuk memantau kinerja sistem secara real-time dan mendeteksi masalah potensial.
- e. Skalabilitas: Combining box dapat dirancang untuk mengakomodasi penambahan panel surya tambahan dalam sistem tanpa perlu mengganti seluruh struktur sistem.

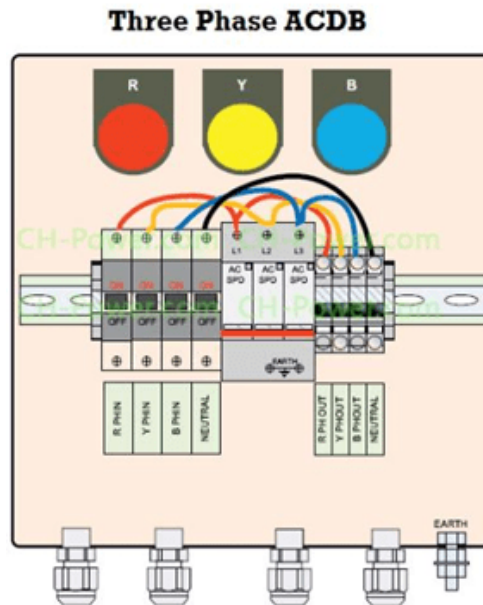
G. Panel ACDB

Panel AC Distribution Box (disebut juga sebagai AC Distribution Panel atau ACDB) adalah komponen dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang bertanggung jawab untuk mendistribusikan dan mengatur arus listrik dari inverter ke berbagai beban listrik dalam bangunan atau sistem. Panel ini khusus mengelola aliran listrik dari inverter yang menghasilkan listrik AC (arus bolak-balik) ke berbagai perangkat dan beban yang memerlukan energi listrik. Berikut adalah penjelasan lebih detail tentang AC Distribution Box:

Komponen Utama AC Distribution Box :

- a. Input dari Inverter: Panel *AC Distribution Box* menerima aliran listrik AC dari inverter. Inverter mengonversi energi DC (arus searah) yang dihasilkan oleh panel surya menjadi energi AC yang dapat digunakan oleh perangkat listrik.
- b. *Circuit Breakers atau Switches*: AC Distribution Box biasanya dilengkapi dengan circuit breakers atau switches yang mengontrol aliran listrik ke berbagai beban. Ini memungkinkan pengguna untuk mematikan atau menghidupkan aliran listrik ke berbagai bagian bangunan atau sistem.
- c. *MCCB (Molded Case Circuit Breaker)*: Ini adalah tipe circuit breaker yang digunakan untuk melindungi sirkuit listrik dari lonjakan arus yang berlebihan. MCCB dapat diatur ulang setelah terpicu.
- d. *MCB (Miniature Circuit Breaker)*: Ini adalah tipe circuit breaker yang lebih kecil dan lebih sederhana yang digunakan untuk melindungi sirkuit individu dari lonjakan arus yang berlebihan.
- e. *Distribution Blocks*: Ini adalah komponen yang memungkinkan arus listrik dibagi dan didistribusikan ke berbagai sirkuit atau beban yang berbeda.
- f. *Monitoring Devices*: Beberapa AC Distribution Box dapat dilengkapi dengan perangkat pemantauan yang memantau aliran listrik, tegangan, dan arus pada sirkuit-sirkuit tertentu.

- g. *Grounding and Bonding*: Seperti pada combiner box, komponen grounding dan bonding penting untuk mengalirkan arus listrik berlebih dan memastikan keselamatan dari bahaya listrik.



Gambar 2. 15 Skema AC Distribution Box

Fungsi dan Keuntungan AC Distribution Box :

- Distribusi Energi:** AC Distribution Box memastikan bahwa energi listrik yang dihasilkan oleh inverter didistribusikan dengan efisien ke berbagai perangkat dan beban yang memerlukan listrik.
- Pengaturan Beban:** Dengan circuit breakers atau switches, pengguna dapat mengatur aliran listrik ke berbagai sirkuit atau beban sesuai kebutuhan.
- Pengamanan:** Circuit breakers dan perangkat pelindung lainnya melindungi sirkuit dan perangkat dari lonjakan arus atau gangguan listrik lainnya.
- Monitoring:** Pemantauan aliran listrik dan parameter lainnya membantu mengawasi kinerja sistem dan mendeteksi masalah potensial.
- Pemeliharaan yang Mudah:** AC Distribution Box memudahkan pemeliharaan dan perawatan sistem PLTS dengan memberikan kontrol dan distribusi yang lebih terpusat.
- Penyesuaian:** *AC Distribution Box* dapat diatur ulang untuk mengakomodasi perubahan dalam sistem atau kebutuhan listrik.

H. MPPT (*Maximum Power Tracking*)

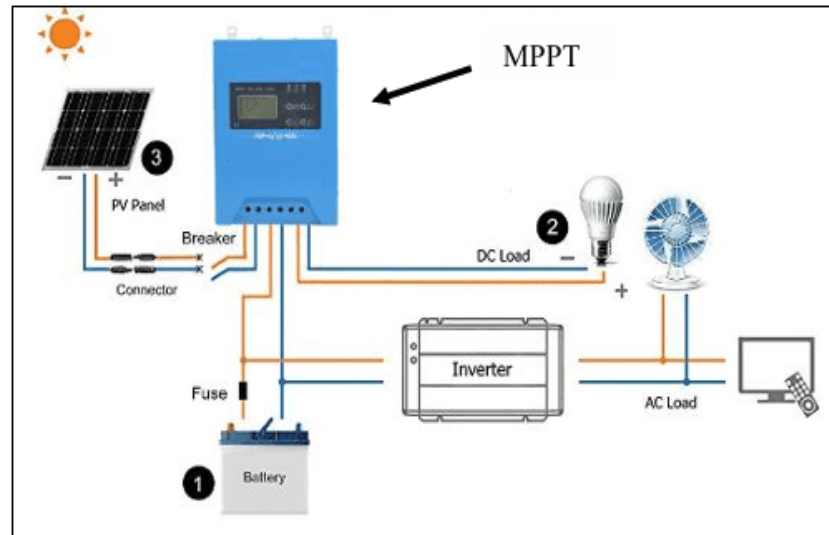
MPPT adalah teknologi yang digunakan dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) untuk memaksimalkan pengambilan daya yang dihasilkan oleh panel surya dengan mengoptimalkan tegangan dan arusnya.

Dalam sistem PLTS, yang berfungsi untuk secara konstan mencari dan mengunci titik kerja dimana panel surya menghasilkan daya listrik maksimum (P_{max}) pada kondisi lingkungan saat itu. Panel surya memiliki karakteristik unik: daya Outputnya (Watt) bergantung pada tegangan (Volt) dan Arus (Ampere), dan titik daya maksimum ini bergeser terus karena pengaruh Utama. Yaitu dapat dilihat dari Intensitas cahaya matahari mendung ke cerah dapat mengubah arus yang dihasilkan, Suhu Panel dimana panas menyebabkan tegangan panel turun.

Fungsi utama dari teknologi MPPT adalah untuk secara terus menerus memantau kinerja panel surya dan mengatur tegangan dan arus yang ditarik dari panel agar selalu ada pada titik daya maksimum, terlepas dari Fluktuasi intensitas cahaya atau suhu.

Beberapa manfaat dari menggunakan Teknologi MPPT dalam PLTS termasuk :

- a. Peningkatan Efisiensi: MPPT memastikan bahwa panel surya bekerja pada efisiensi maksimum, sehingga menghasilkan lebih banyak energi listrik dari sinar matahari yang diterima.
- b. Penyesuaian Dinamis: karena Kondisi cahaya dan suhu berubah sepanjang hari, MPPT memungkinkan panel surya untuk terus beradaptasi dan mengoptimalkan kinerjanya.
- c. Pemeliharaan keseimbangan: MPPT membantu mencegah overcharging atau undercharging baterai penyimpanan energi yang memungkinkan ada dalam sistem PLTS.
- d. Mengatasi kekurangan : MPPT dapat membantu mengatasi beberapa masalah yang dapat mempengaruhi kinerja panel surya, seperti bayangan parsial atau kotoran yang menutupi sebagian Panel.

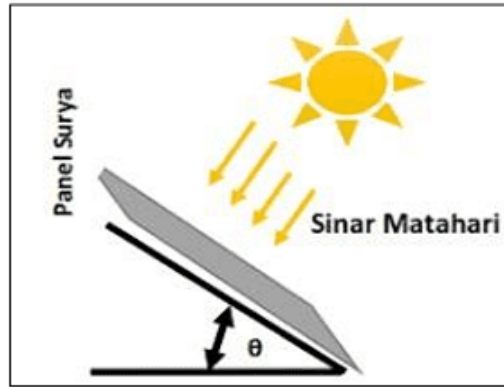


Gambar 2. 16 Skema Penempatan MPPT

Dengan mengimplementasikan teknologi MPPT, sistem PLTS dapat memaksimalkan pengumpulan energi dari cahaya matahari, sehingga menghasilkan lebih banyak energi listrik yang efisiensi dan lebih baik dan bermanfaat dari waktu ke waktu.

I. Kemiringan Sudut

Kemiringan sudut pemasangan Panel Surya Kemiringan sudut pemasangan Panel Surya (Photovoltaic Panels) pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) bervariasi tergantung pada lokasi geografis. Terdapat Juga beberapa faktor yang menyebabkan kinerja PLTS menjadi kurang maksimal, seperti pengaruh sudut kemiringan, bayangan, tingkat kebersihan panel dll [14]. Untuk itu tujuan utama dari sudut kemiringan yang optimal adalah untuk memaksimalkan penerimaan sinar matahari sepanjang tahun. Pada umumnya, sudut kemiringan optimal berkisar antara 15 hingga 40 derajat, tergantung pada lintang geografis dan musim di lokasi yang akan dipasang PLTS.



Gambar 2. 17 Skema Sudut Kemiringan

Namun, ada beberapa prinsip dan pertimbangan yang dapat membantu dalam menentukan sudut kemiringan yang optimal:

- a. Lintang Geografis: Kemiringan sebaiknya disesuaikan dengan lintang geografis di Lokasi. Di daerah lintang rendah (dekati khatulistiwa), sudut yang lebih curam (antara 5 hingga 15 derajat) bisa lebih optimal. Di daerah lintang tinggi, sudut yang lebih tajam bisa lebih efisien (antara 30 hingga 40 derajat).
- b. Musim: Jika pada saat pemasangan ingin mengoptimalkan produksi energi sepanjang tahun, maka sudut kemiringan sebaiknya diatur pada nilai rata-rata sudut matahari sepanjang tahun. Ini akan memungkinkan panel surya menangkap sinar matahari dengan efisien sepanjang musim.
- c. Perhitungan dan Simulasi: Penggunaan perangkat lunak simulasi energi surya dapat membantu pengguna dalam menghitung berbagai sudut kemiringan dan melihat bagaimana efeknya terhadap produksi energi selama tahun.
- d. Blokir Bayangan: Pastikan panel surya tidak terhalangi oleh bayangan dari bangunan, pohon, atau hambatan lainnya. Ini bisa mempengaruhi kemampuan panel untuk menangkap sinar matahari secara efisien.
- e. Orientasi: Selain kemiringan, juga pertimbangkan orientasi panel surya terhadap arah matahari. Di belahan bumi utara, menghadap selatan umumnya merupakan pilihan yang baik untuk memaksimalkan penerimaan sinar matahari sepanjang hari.
- f. Keandalan Konstruksi: Pastikan struktur pemasangan dan sudut kemiringan yang di pilih kokoh dan tahan terhadap kondisi cuaca dan lingkungan.

J. *Performance Rasio*

Performance Ratio (PR) adalah ukuran efisiensi operasional dari sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). PR mengukur seberapa efisien PLTS dalam mengubah energi matahari menjadi energi listrik yang dapat digunakan. PR biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase dan dihitung dengan membandingkan energi aktual yang dihasilkan oleh PLTS dengan energi yang seharusnya dihasilkan berdasarkan kondisi cahaya matahari yang tersedia.

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi outputan nilai PR meliputi hilangnya efisiensi dalam konversi cahaya matahari menjadi energi listrik (seperti efisiensi konversi panel surya), menghilangnya efisiensi pada saat transmisi energi melalui kabel dan inverter, kondisi cuaca, dan pemeliharaan rutin. *Performance Rasio* yang baik merupakan indikator kualitas operasional PLTS. PR yang tinggi menunjukkan bahwa PLTS efisien dalam menghasilkan energi listrik, kemudian saat PR yang dibawah nilai rendah menunjukkan adanya kerugian efisiensi dalam sistem. Dengan demikian. Mengapa PR lebih dari 70% dapat dianggap baik, terutama karena :

- a. Kontrol Kualitas: *Performance Ratio* yang tinggi menunjukkan bahwa instalasi dan pengoperasian PLTS dilakukan dengan cermat dan berkualitas tinggi.
- b. Pemantauan dan Perawatan: PR yang lebih tinggi mungkin mendorong pemilik sistem untuk lebih aktif dalam pemantauan dan perawatan rutin, yang pada gilirannya dapat meningkatkan umur sistem dan kinerjanya.
- c. Kualitas Sistem: PR di atas 70% menunjukkan bahwa sebagian besar energi matahari yang tersedia digunakan dengan efisien oleh sistem. Ini mengindikasikan bahwa panel surya, inverter, dan komponen lainnya berfungsi dengan baik.
- d. Koreksi Masalah: PR yang rendah (di bawah 70%) bisa menunjukkan adanya masalah atau kerusakan dalam sistem yang mempengaruhi kinerja. Dengan PR yang lebih tinggi, kemungkinan masalah dapat terdeteksi lebih cepat dan diperbaiki.

2.2.6 Kelayakan Investasi

Kelayakan investasi mengacu pada proses penilaian dan analisis yang dilakukan untuk menilai apakah suatu proyek atau investasi memiliki potensi untuk memberikan pengembalian finansial yang memadai dan apakah proyek tersebut layak dilakukan dari segi finansial. Tujuan utama dari analisis kelayakan investasi adalah untuk mengidentifikasi apakah investasi tersebut akan menghasilkan keuntungan yang memadai bagi investor atau pemilik proyek.

Dalam analisis kelayakan investasi, sejumlah faktor dievaluasi untuk mengukur potensi dan risiko investasi, termasuk:

1. Pengembalian Modal (Return on Investment, ROI): ROI mengukur seberapa efektif investasi dalam menghasilkan pengembalian finansial. Ini dihitung dengan membandingkan keuntungan bersih yang dihasilkan oleh investasi dengan jumlah modal awal yang diinvestasikan. Semakin tinggi ROI, semakin baik investasi tersebut dalam menghasilkan pengembalian yang tinggi terhadap jumlah modal yang ditanamkan.
2. Nilai Sekarang Bersih (Net Present Value, NPV): NPV merupakan perbedaan antara nilai sekarang dari arus kas masuk dengan arus kas keluar dari proyek. Jika NPV positif, ini menunjukkan bahwa investasi berpotensi menghasilkan keuntungan yang lebih besar daripada biaya investasi awal. Dengan menggunakan konsep nilai waktu uang, NPV memperhitungkan bahwa uang di masa depan memiliki nilai lebih rendah daripada uang sekarang.
3. Internal Rate of Return (IRR): IRR adalah tingkat pengembalian di mana NPV dari investasi menjadi nol. IRR mengindikasikan tingkat pengembalian yang diharapkan dari investasi dalam bentuk persentase. Semakin tinggi IRR, semakin baik investasi tersebut. Namun, ketika proyek memiliki arus kas yang kompleks atau perubahan tanda arus kas, IRR mungkin tidak selalu memberikan hasil yang jelas.
4. Payback Period: Payback period adalah jangka waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan kembali investasi awal dari arus kas yang dihasilkan oleh proyek. Semakin pendek periode payback, semakin cepat investasi terbayar. Payback period adalah indikator penting dalam mengukur likuiditas investasi.
5. Risiko dan Ketidakpastian: Faktor risiko dievaluasi untuk memahami sejauh mana investasi rentan terhadap perubahan pasar, kondisi ekonomi, regulasi, atau situasi eksternal lainnya. Investasi dengan risiko yang lebih tinggi cenderung memiliki tingkat pengembalian yang lebih tinggi, tetapi juga mempunyai potensi kerugian yang lebih besar.
6. Analisis Sensitivitas: Analisis sensitivitas melibatkan menguji bagaimana perubahan dalam faktor-faktor kunci akan mempengaruhi hasil investasi. Ini membantu mengidentifikasi seberapa sensitif hasil investasi terhadap perubahan kondisi ekonomi atau parameter lainnya.

7. Aspek Hukum dan Lingkungan: Faktor hukum dan lingkungan juga penting dalam menentukan kualitas investasi. Investasi harus mematuhi regulasi yang berlaku dan tidak melanggar hukum atau norma yang ada.
8. Dampak Sosial dan Lingkungan: Beberapa investasi juga dinilai dari sudut pandang dampak sosial, lingkungan, dan etika. Investasi yang berkontribusi positif terhadap masyarakat atau lingkungan dapat dianggap lebih baik dari segi kualitas investasi.
9. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor ini secara komprehensif, analisis kelayakan investasi membantu mengidentifikasi investasi yang memiliki potensi pengembalian yang baik dan sesuai dengan tujuan finansial dan strategi investasi yang dimiliki.