

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Yang Relevan

Beberapa literatur yang relevan dengan penelitian ini telah dikumpulkan beberapa penelitian relevan sebagai dasar sebagai analisis teknis sistem PV untuk CCTV di gardu distribusi. Disimpulkan efisiensi sistem sangat dipengaruhi oleh sudut kemiringan panel dan shading[3].

1. Yakubu, R. O., Quansah, D. A., Mensah, L. D., Ahiataku-Togobo, W., Acheampong, P., & Adaramola, M. S. (2023). *Comparison of ground-based and floating solar photovoltaic systems performance based on monofacial and bifacial modules in Ghana*. Elsevier. Penelitian ini membandingkan kinerja sistem PLTS berbasis darat (ground-based) dan sistem PLTS terapung (floating photovoltaic/FPV) dengan menggunakan modul monofasial dan bifasial. Studi dilakukan di Bui, Ghana, dengan konfigurasi pemasangan panel secara landscape. Parameter kinerja yang dianalisis meliputi *capacity factor* dan *performance ratio*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem FPV, khususnya dengan modul bifasial, memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan sistem berbasis darat.[4]
2. Choi, Y., & Bhakta, S. (2025). *A comparative experimental performance analysis for fixed solar PV systems and solar tracker PV systems in a tropical region*. *Journal of Mechanical Science and Technology*. Studi ini mengevaluasi kinerja sistem PLTS dengan konfigurasi tetap dan sistem pelacak surya di wilayah tropis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan modul bifasial pada sistem PV menghasilkan peningkatan output energi tahunan sebesar 6,81% dibandingkan dengan modul monofasial, sehingga menegaskan potensi peningkatan produksi energi melalui optimalisasi konfigurasi sistem.[5]
3. Efendi, M., Mainil, R. I., & Aziz, A. (2025). *Comparison of the efficiency of solar PV fixed, single-axis, and dual-axis solar trackers: A review*. *Jurnal Kimia dan Kemasan*. Artikel ini merupakan studi tinjauan yang membahas perbandingan efisiensi antara

sistem PLTS tetap, pelacak sumbu tunggal, dan pelacak sumbu ganda. Berdasarkan berbagai penelitian sebelumnya, sistem pelacak sumbu tunggal mampu meningkatkan efisiensi rata-rata sebesar 25,6% dibandingkan sistem tetap, sedangkan pelacak dua sumbu memberikan kinerja tertinggi namun dengan kompleksitas dan biaya yang lebih besar.[6]

4. Vithanage, V., et al. (2024). *A comparative experimental performance analysis for fixed solar PV systems and solar tracker PV systems in a tropical region*. ResearchGate. Penelitian eksperimental ini dilakukan di Sri Lanka untuk membandingkan kinerja sistem PLTS tetap dengan sistem pelacak sumbu tunggal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pelacak sumbu tunggal mampu meningkatkan output daya rata-rata sebesar 14,46% dibandingkan dengan sistem tetap, terutama pada kondisi radiasi matahari yang fluktuatif.[7]
5. Wijaya, I. K. H., Kumara, I. N. S., & Ariastina, W. G. (2022). *Analisis PLTS tower 25 kWp on-grid tower DPRD Provinsi Bali*. *Jurnal SPEKTRUM*. Penelitian ini menganalisis penerapan PLTS rooftop berkapasitas 25 kWp pada gedung DPRD Provinsi Bali. Fokus utama penelitian adalah penentuan sudut kemiringan optimal panel surya monofasial dengan konfigurasi landscape pada atap berbentuk *pyramid roof*, guna memperoleh kinerja sistem yang maksimal.[8]
6. Abdul Kahar, Al. (2023). *PVsyst-based comparative analysis for bifacial, monofacial PV projects*. *PV Magazine*. Studi ini menggunakan perangkat lunak PVsyst untuk membandingkan kinerja proyek PLTS dengan modul bifasial dan monofasial. Hasil simulasi menunjukkan bahwa modul bifasial mampu menghasilkan energi listrik sebesar 6,81% lebih tinggi dibandingkan modul monofasial dalam kondisi pengujian terkontrol.[9]
7. Mekonnen T, Ramayya V, & Tsegay S, . (2024). *Techno-economic Comparative Analysis of Floating/On-Ground Solar PV System for Electrification of Gilgel Gibe I Auxiliary Load in Ethiopia*. Penelitian ini menganalisis aspek teknis dan ekonomi dari sistem PLTS terapung dan sistem PLTS berbasis darat. Hasil kajian menunjukkan bahwa sistem FPV memiliki kapasitas pembangkitan energi sekitar 10,2% lebih tinggi dibandingkan sistem berbasis darat, serta berpotensi memberikan keuntungan tambahan dari sisi pemanfaatan lahan.[10]

8. Senpinar, A., et al. (2023). *Comparison, evaluation and prioritization of solar photovoltaic systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Studi ini membandingkan dan mengevaluasi berbagai jenis sistem PLTS, termasuk sistem dengan sudut kemiringan tetap dan sistem pelacak dua sumbu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pelacak dua sumbu memiliki kinerja terbaik dalam menghasilkan energi, meskipun memerlukan biaya investasi dan perawatan yang lebih tinggi.[11]
9. Ramasamy, P., & Margolis, R. (2024). *Overview of NREL's research on floating solar photovoltaics. National Renewable Energy Laboratory*. Laporan ini menyajikan tinjauan komprehensif mengenai penelitian NREL terkait sistem PLTS terapung. Pembahasan meliputi potensi peningkatan efisiensi energi, pengurangan evaporasi air pada reservoir, serta peluang implementasi FPV secara luas di berbagai negara.[12]
10. Kakoulaki, G., Gonzalez Sanchez, R., Gracia Amillo, A. et al. (2023). *Benefits of pairing floating solar photovoltaics with hydropower reservoirs in Europe*. Artikel mengevaluasi manfaat integrasi sistem fotovoltaik terapung (FPV) pada reservoir pembangkit listrik tenaga air (PLTA) di Eropa. Studi menunjukkan bahwa pemasangan FPV di permukaan reservoir dapat meningkatkan kapasitas pembangkitan listrik tenaga surya tanpa membutuhkan lahan baru, sekaligus mengurangi penguapan air dari badan air. Dengan menutupi sebagian kecil area reservoir (mis. <15%), potensinya bisa menghasilkan energi surya yang signifikan—mencapai sebagian besar produksi listrik hidro yang ada—dan juga menghemat volume air tahunan. Pendekatan ini menawarkan solusi ganda untuk memperluas energi terbarukan dan mengurangi kompetisi penggunaan lahan di wilayah dengan sumber daya air dan sinar matahari yang baik.[13]

Berdasarkan penelitian yang relevan, penelitian yang akan dilakukan memiliki perbedaan dari perancangan tempat perancangan sistem dari segi teknis. Sedangkan penelitian yang akan dilakukan mengkaji plts pada tower dengan berdasarkan kriteria dan bobot dari perancangan penelitian.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Panel Surya

Panel surya atau *Photovoltaic* (PV) adalah teknologi yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. [14] Sel surya adalah perangkat semikonduktor yang memiliki kemampuan untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik menggunakan prinsip fotovoltaiik. Modul surya merupakan gabungan dari beberapa sel surya, sementara panel surya merupakan gabungan dari beberapa modul surya.[15] Gambar 2.1 menunjukkan panel surya yang digunakan sebagai sumber energi listrik pada sistem PLTS.



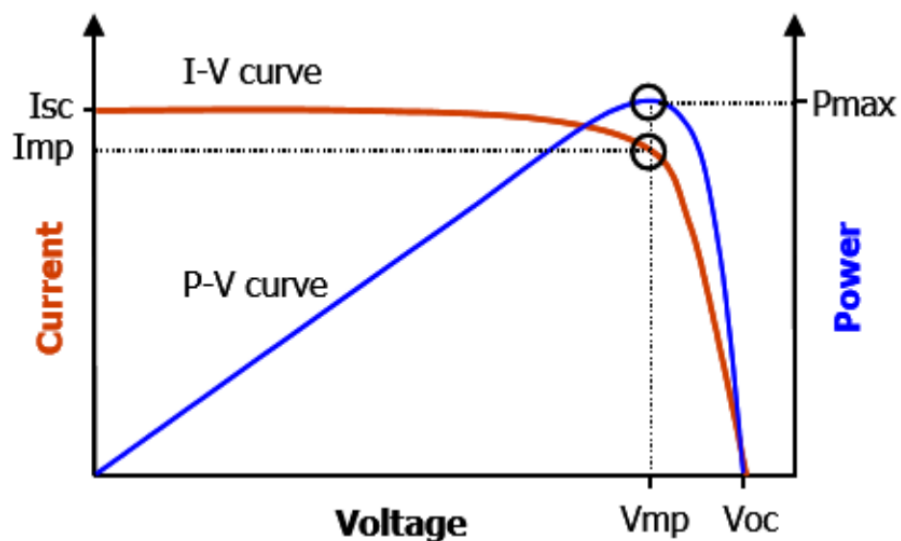
Gambar 2. 1 Panel Surya

(<https://sunenergy.id>)

Berdasarkan jenis bahan pembuatan sel surya, dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis, yaitu : amorf, polikristalin (pc-Si), dan monokristalin (c-Si), di mana efisiensi konversi energinya berada dalam kisaran 6-7, 11-15, dan 15-20, masing-masing. Karena semakin tinggi efisiensinya lebih baik, panel polikristalin dan monokristalin menjadi favorit dalam aplikasi sistem surya. [16]

2.2.2 Karakteristik Modul Surya

Daya keluaran yang dihasilkan sistem panel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan seperti intensitas radiasi matahari, suhu lingkungan, spektrum cahaya matahari, sudut datang cahaya, parsial shading dan lain-lain.[17] Kerugian daya maksimum ketidakcocokan atau mismatch pada sistem panel surya dapat juga terjadi pada kondisi karakteristik arus short circuit (I_{sc}) dan tegangan open circuit (V_{oc}) panel surya yang tidak sama dalam satu instalasinya. Karakteristik arus dan tegangan (I-V) pada modul surya mencerminkan kemampuan modul dalam mengonversi energi berdasarkan tingkat radiasi matahari dan suhu tertentu. Karakteristik ini akan tetap stabil selama intensitas radiasi matahari dan suhu tidak mengalami perubahan. Gambar 2.1 menggambarkan hubungan antara arus dan tegangan pada modul surya. Dalam kurva I-V, arus hubung singkat (I_{sc}) terjadi ketika tegangan bernilai nol, sementara tegangan sirkuit terbuka (V_{oc}) dicapai saat arus bernilai nol. Modul surya bekerja secara optimal pada titik daya maksimum, yang ditentukan oleh kombinasi tegangan dan arus pada titik daya maksimum (V_{mp} , I_{mp}). Gambar 2.2 menunjukkan Kurva Karakteristik V-I Solar Panel



Gambar 2. 2 Kurva Karakteristik V-I Solar Panel

Sumber: (<https://temonsoejadi.id>)

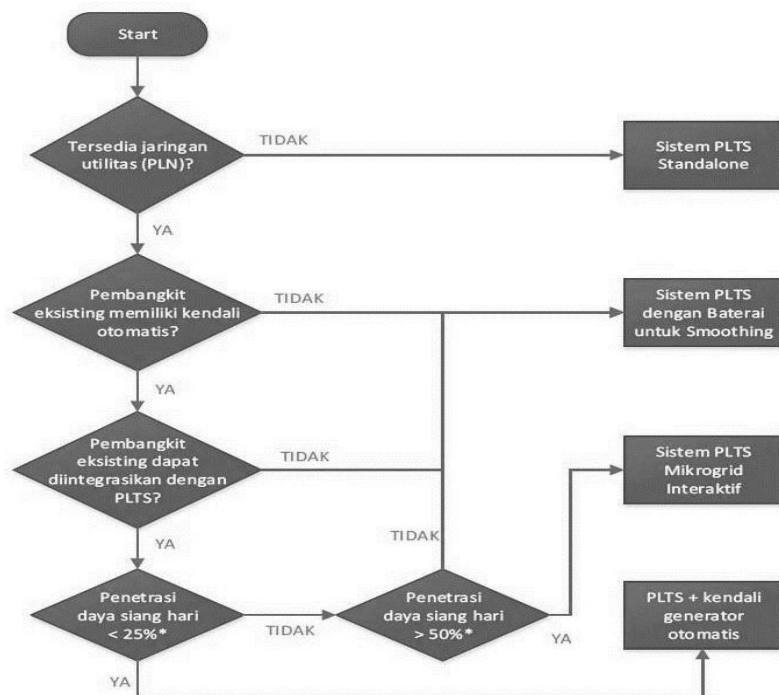
2.2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah sistem konversi energi dari radiasi matahari menjadi energi listrik menggunakan modul fotovoltaik (PV). PLTS dapat dibagi menjadi dua jenis berdasarkan koneksi ke jaringan: on-grid (terhubung ke jaringan listrik) dan off-grid (berdiri sendiri tanpa koneksi ke jaringan).

Pada sistem off-grid, PLTS dilengkapi dengan sistem penyimpanan energi (baterai) untuk menyuplai beban saat malam hari atau kondisi tanpa sinar matahari. Sistem ini sangat cocok diterapkan di daerah terpencil atau lokasi yang tidak dijangkau oleh jaringan PLN.[18]

2.2.4 Topologi sistem PLTS

Dalam perancangan PLTS diperlukan desain topologi yang sesuai dengan kebutuhan serta kondisi sistem eksisting pada lokasi penelitian. Berikut merupakan tahapan alur dalam menentukan topologi perancangan PLTS, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.3



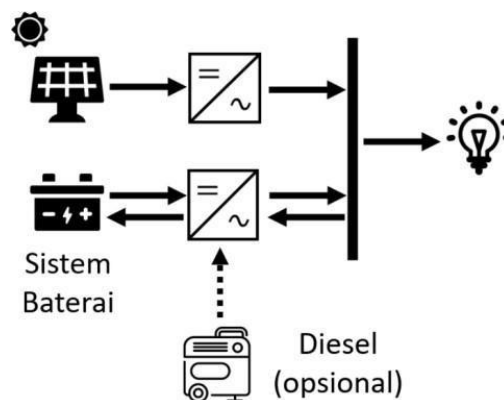
Sumber: (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM))[19]

Gambar 2. 3 Alur untuk menentukan topologi PLTS

a. Sistem PLTS *off-grid/ stand alone*

Pada sistem *off-grid*, PLTS bertindak sebagai satu-satunya sumber energi listrik karena tidak tersambung ke jaringan listrik lain sehingga diperlukan adanya *system* penyimpanan energi berupa baterai untuk dapat mensuply listrik secara kontinyu. Biasanya system ini diaplikasikan untuk listrik pedesaan yang belum terjangkau PLN.

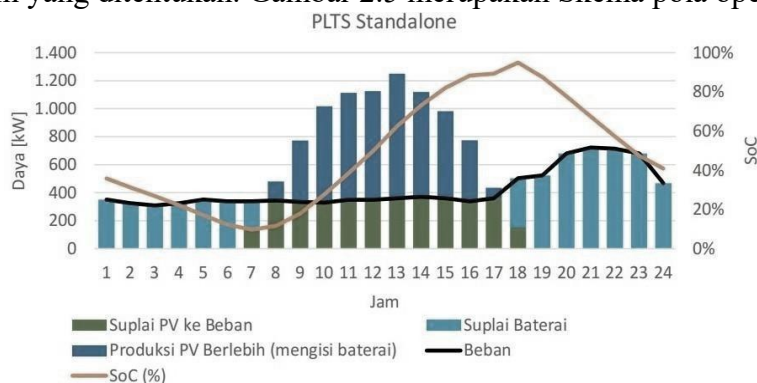
Secara sederhana topologi sistem PLTS *Off-grid* dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Skema system PLTS Off-grid

Sumber: (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM))[19]

Ketika energi yang dihasilkan oleh panel surya lebih tinggi daripada beban yang disuply dan kondisi baterai belum mencapai *state of charge* (SoC) maksimum maka kelebihan energi akan disimpan oleh baterai. Dan saat kondisi baterai terisi penuh sedangkandaya PV yang dihasilkan lebih kecil dari beban, maka baterai akan bertindak sebagai *grid-former* (*voltage source*) dengan mensuplay beban sampai batas SoC minimum yang ditentukan. Gambar 2.5 merupakan Skema pola operasi PLTS off-grid.

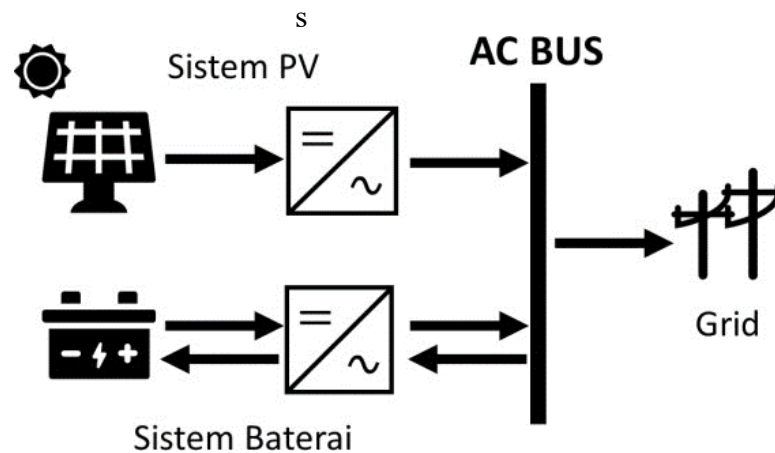


Gambar 2. 5 Skema pola operasi PLTS off-grid

Sumber: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM)[19]

b. Sistem PLTS *On-grid* dengan baterai untuk *smoothing*

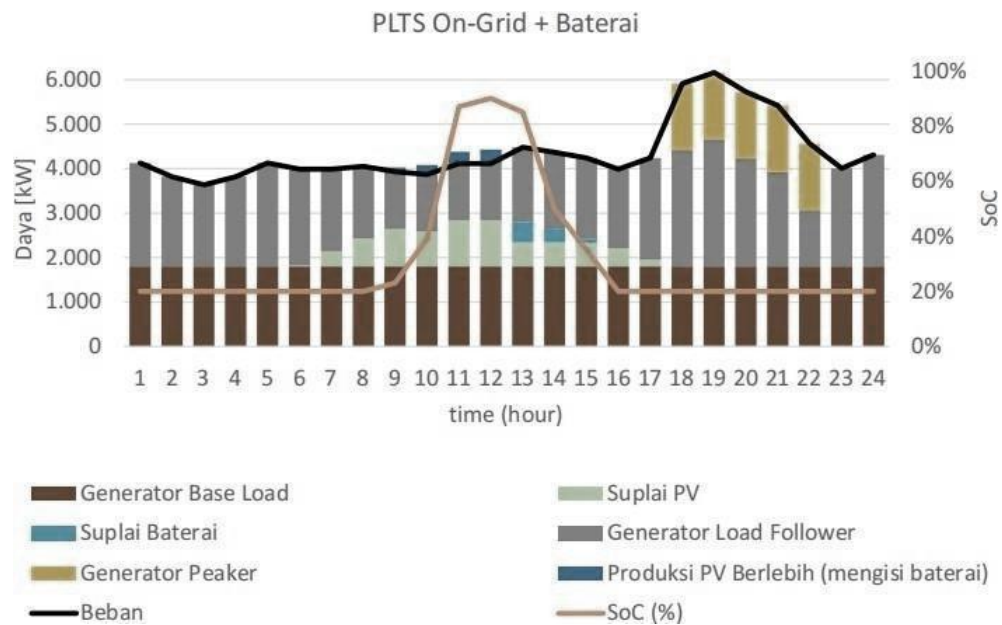
Pada sistem *On-grid*, PLTS dan jaringan utilitas saling terhubung untuk menjadi sumber energi listrik, sementara itu baterai digunakan untuk system penyimpanan kelebihan daya dari PLTS serta digunakan untuk mempertahankan daya keluaran PLTS agar tetap stabil (*smoothing*). Gambar 2.6 merupakan Skema sistem PLTS *On-grid* dengan baterai.



Gambar 2. 6 Skema sistem PLTS *On-grid* dengan baterai

Sumber: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM)[19]

Saat *Battery Energy Storage System* (BESS) beroperasi maka inverter baterai akan bertindak sebagai *load-follower* dengan operasi *charge-discharge* menyesuaikan kondisi sistem. Saat kondisi *shading* maka frekuensi jaringan menurun dan baterai akan dengan cepat mengisi kekurangan daya dalam sistem SoC baterai masih tersedia sehingga frekuensi tetap stabil. Pada saat frekuensi jaringan naik, maka suply energi dari PLTS akan disimpan dalam baterai selama SoC baterai berada dibawah SoC maksimum, tetapi jika frekuensi masih belum stabil maka suply PLTS akan dikurangi hingga frekuensi sistem menjadi stabil. Gambar 2.7 merupakan skema pola operasi PLTS *On-grid* dengan baterai.



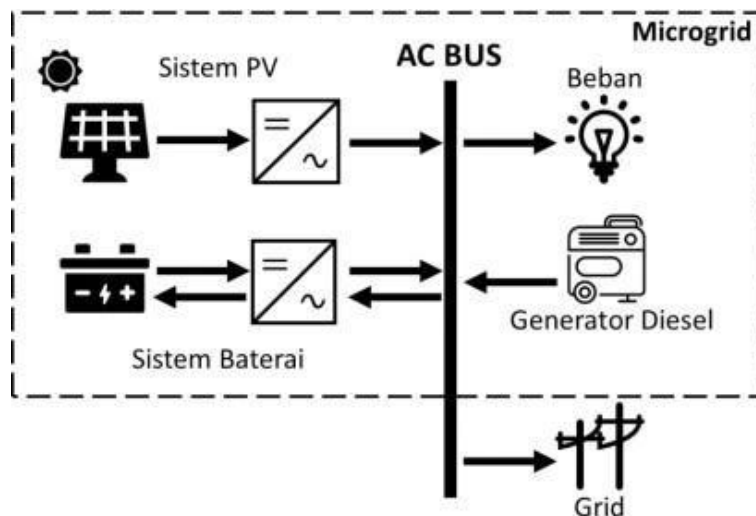
Gambar 2. 7 Skema pola operasi PLTS On-grid dengan baterai

Sumber: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM)[19]

Kelemahan dari sistem ini adalah tidak dapat melakukan *blackstart* saat jaringan utilitas terjadi padam, karena jaringan utilitas bertindak sebagai referensi tegangan dan frekuensi sebagai dasar operasi dari PLTS. Agar operasi seluruh komponen perangkat PLTS dan system penyimpanan energi dapat dikendalikan, maka diperlukan adanya perangkat kendali utama.

c. Sistem PLTS Hibrida/*Microgrid* Interaktif

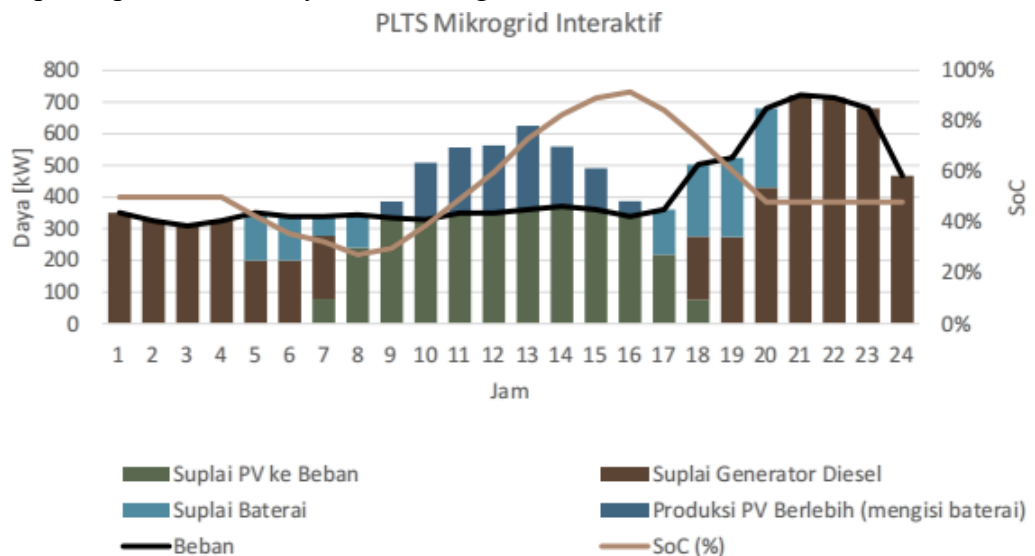
Microgrid merupakan kumpulan dari beberapa pembangkit listrik dan beban yang dapat beroperasi baik terhubung dengan jaringan utilitas maupun saat system terisolasi. Sistem ini memiliki system kendali yang paling kompleks jika dibandingkan dengan topologi PLTS lainnya. Contoh topologi PLTS dengan system *microgrid* dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Skema system PLTS Hibrida / Microgrid interaktif

Sumber: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) [19]

Saat PLTS terhubung ke jaringan, maka sistem akan beroperasi sama seperti PLTSon-grid, namun saat tidak terhubung ke jaringan (*mode island*) maka komponen BESS atau generator diesel akan berperan sebagai *grid-former* sehingga sistem inidapat tetap mensuplay beban meskipun tidak ada suplay dari utilitas. Gambar 2.9 merupakan skema pola operasi PLTS Hybrid / Microgrid interaktif.



Gambar 2. 9 Skema pola operasi PLTS Hybrid / Microgrid interaktif

Sumber: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM)[19]

Kelebihan sistem ini adalah mampu melakukan *blackstart* untuk menopang system pada saat kondisi transisi dari mode *On-grid* ke mode *island*. Operasi generator diesel dalam system ini dapat diatur pada nilai optimum sehingga generator tidak berada dalam kondisi beban yang terlalu rendah.

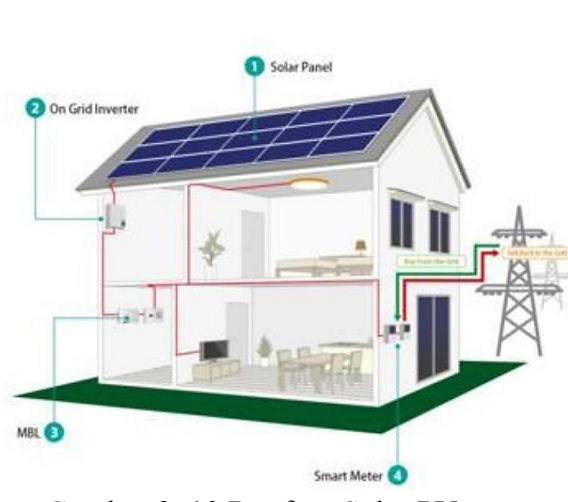
2.2.5 Tipe Pemasangan Panel Surya

Pemasangan PLTS berdasarkan teknologi terdapat tiga jenis, yaitu *roof mounted*, *ground-mounted* dan *Reservoir / lake based floating solar* sistem. Masing-masing pemasangan PLTS memiliki keunggulannya masing-masing, adapun penjelasannya sebagai berikut :

a. *Rooftop Mounted*

Metode instalasi *roof-mounted* adalah pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang memanfaatkan area atap bangunan yang tidak terhalang. Atap berfungsi sebagai struktur penopang bagi instalasi PLTS, tetapi diperlukan persiapan untuk mengatasi masalah cuaca. Teknologi *roof-mounted* ini efektif untuk pembangkitan listrik dalam kapasitas kecil, menghemat tagihan listrik dengan sistem ekspor impor, menerapkan energi terbarukan modern, serta membantu mengurangi dampak perubahan iklim. [20]

Contoh teknologi *roof-mounted* dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Rooftop Solar PV

Sumber: (Adyasolar, 2018)

b. *Ground Mounted*

Metode instalasi *ground-mounted* memanfaatkan lahan tanah kosong yang datar dan stabil. Instalasi ini memerlukan tonggak dan balok baja sebagai struktur penopang serta analisis stabilitas tanah untuk jangka panjang. Metode *ground-mounted* efektif untuk pembangkitan listrik skala besar. Kelebihan panel surya yang dipasang di atas tanah adalah temperatur panel yang lebih stabil karena pendinginan dari tanah yang menyerap panas. Namun, kelemahan sistem ini adalah memerlukan lahan yang luas dan rentan terhadap debu dan kotoran karena posisinya dekat dengan tanah, yang dapat mengurangi output produksi panel surya hingga 20% jika seluruh permukaan panel tertutup debu. Solusi untuk masalah ini adalah membersihkan panel surya setiap empat bulan sekali.[20]

Contoh teknologi *ground-mounted* dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Ground Mounted Solar PV

Sumber: (Modjo, 2020)

c. *Reservoir atau Lake based Floating Solar System*

Metode instalasi *floating solar photovoltaic* memanfaatkan permukaan air dengan menggunakan sistem apung. *Floating solar system* dapat dipasang di atas permukaan air seperti laut, waduk, danau, dan lainnya. Penggunaan sistem apung di atas *reservoir* atau danau sangat berpotensi karena permukaan air memiliki sistem pendinginan evaporatif alami yang menjaga suhu panel lebih rendah dan meningkatkan

efisiensi panel hingga 11% dibandingkan dengan sistem PV yang dipasang di tanah.[21] Metode ini juga memiliki lebih sedikit halangan yang menyebabkan *shading losses* dan lebih sedikit efek debu yang dapat menurunkan performa panel. Gambar 2.12 merupakan jenis dari Floating Solar PV.



Gambar 2. 12 Floating Solar PV [27]

2.2.6 Sistem CCTV Off-Grid

CCTV (Closed-Circuit Television) merupakan perangkat pemantauan yang menggunakan daya listrik rendah dan cocok untuk didukung dengan sistem PV. Kebutuhan operasional 24 jam membuat sistem off-grid menjadi solusi ideal, khususnya untuk area yang tidak terjangkau jaringan listrik. CCTV digunakan untuk pengawasan dan keamanan, dan banyak digunakan di lokasi penting seperti gardu induk, jalan tol, serta menara transmisi dan komunikasi. CCTV modern umumnya menggunakan daya kecil (sekitar 5–15 Watt) dan beroperasi selama 24 jam. [22]

Untuk mengoperasikan CCTV secara mandiri tanpa listrik PLN, diperlukan sumber energi alternatif seperti PLTS off-grid. Dengan konsumsi energi yang rendah dan operasi kontinu, CCTV merupakan beban ideal untuk sistem PV kecil dengan efisiensi tinggi dan stabilitas tinggi.

CCTV Eyesec 4G adalah kamera pengawas berbasis jaringan seluler yang mampu merekam video dan mentransmisikan data secara real-time melalui sinyal 4G LTE. Keunggulan perangkat ini adalah tidak memerlukan sambungan internet kabel atau WiFi,

sehingga cocok digunakan pada lokasi yang hanya memiliki sinyal seluler. (Eyesec 2023).

Karakteristik teknis umum CCTV Eyesec 4G:

Tegangan kerja: 12V DC

Daya rata-rata: $\pm 8 - 12$ Watt

Operasional: 24 jam nonstop

Konektivitas: SIM Card 4G LTE

2.2.7 Baterai Sistem Off-Grid

Baterai berperan sebagai penyimpan energi listrik pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) agar beban tetap memperoleh pasokan daya ketika modul fotovoltaik tidak menghasilkan energi, seperti pada malam hari atau saat kondisi cuaca mendung. Keberadaan baterai menjadi komponen krusial dalam menjaga kontinuitas dan keandalan pasokan energi, terutama untuk beban yang harus beroperasi secara terus-menerus, seperti sistem CCTV pada tower SUTET.

Pada penelitian ini digunakan baterai *Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄)* karena memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan jenis baterai konvensional, seperti lead-acid. Baterai LiFePO₄ memiliki umur siklus yang lebih panjang, efisiensi pengisian dan pengosongan yang tinggi, stabilitas termal yang baik, serta tingkat keamanan yang lebih tinggi terhadap risiko *overheat* dan *thermal runaway*. Selain itu, karakteristik tegangan baterai LiFePO₄ yang relatif stabil selama proses pengosongan membuatnya sangat sesuai untuk aplikasi sistem PLTS off-grid dengan kebutuhan suplai daya yang andal dan berkelanjutan [13].

Dalam menentukan kapasitas baterai yang optimal, terdapat beberapa parameter penting yang harus dipertimbangkan agar sistem dapat bekerja secara efisien dan memenuhi kebutuhan energi beban, yaitu sebagai berikut:

Autonomy days merupakan parameter yang menunjukkan jumlah hari sistem mampu menyuplai beban secara mandiri tanpa adanya produksi energi dari panel surya. Parameter ini sangat penting untuk mengantisipasi kondisi cuaca buruk atau minimnya intensitas radiasi matahari dalam periode tertentu. Semakin besar nilai *autonomy days* yang direncanakan, maka kapasitas baterai yang dibutuhkan akan semakin besar untuk menjamin keberlangsungan operasional sistem.

Depth of Discharge (DoD) menunjukkan persentase maksimum energi yang dapat digunakan dari kapasitas total baterai tanpa menyebabkan penurunan kinerja dan umur pakai baterai secara signifikan. Baterai LiFePO_4 umumnya memiliki nilai DoD yang relatif tinggi, yaitu hingga 80%, sebagaimana direkomendasikan oleh produsen seperti *Victron Energy* dan *Battle Born Batteries*. Nilai DoD yang tinggi ini memungkinkan pemanfaatan kapasitas baterai secara lebih optimal dibandingkan baterai konvensional, sehingga ukuran dan jumlah baterai yang diperlukan dapat lebih efisien tanpa mengorbankan keandalan sistem.

Dengan mempertimbangkan parameter autonomy days dan Depth of Discharge (DoD) secara tepat, perencanaan kapasitas baterai pada sistem PLTS dapat menghasilkan desain yang andal, efisien, dan sesuai dengan kebutuhan operasional beban, khususnya untuk mendukung sistem pengawasan CCTV pada tower SUTET yang membutuhkan suplai daya kontinu. *MPPT Charge Controller*, *MPPT (Maximum Power Point Tracking)* adalah teknologi pada charge controller yang memastikan PV module bekerja pada titik daya maksimalnya, terutama saat kondisi pencahayaan berubah-ubah. MPPT mampu meningkatkan efisiensi sistem 10–30% dibandingkan tipe PWM (*Pulse Width Modulation*).[23]

2.2.8 Struktur Tower pada Sistem Transmisi Listrik

Tower adalah struktur yang menopang konduktor pada sistem transmisi udara tegangan tinggi/ekstra tinggi (SUTT/SUTET). Tower memiliki peran penting dalam menjamin jarak aman antar konduktor dan ke permukaan tanah. [24]

Tower atau menara transmisi adalah struktur utama yang digunakan untuk menopang konduktor listrik pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET). Tower berfungsi menjaga jarak aman antara konduktor dengan tanah, bangunan, vegetasi, dan objek lainnya guna menghindari gangguan sistem serta memastikan keselamatan umum.

Dalam sistem ketenagalistrikan di Indonesia, konstruksi dan jenis tower diatur dalam regulasi teknis yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan (Ditjen

Gatrik), termasuk dalam dokumen SKDIR (Surat Keputusan Direktorat) seperti: SK.21.DJK.2000: "Persyaratan Teknik Instalasi SUTT dan SUTET" SPLN 64:1985: "Petunjuk Teknis Perencanaan SUTT" dan SPLN 61:1984: "Peraturan Teknis Tegangan Tinggi"

Berdasarkan fungsinya (SK.21.DJK.2000), Tower transmisi dibagi menjadi beberapa jenis, dengan tabel 2.1 sebagai berikut :

Tabel 2. 1 Jenis-Jenis Tower Saluran Transmisi dan Fungsinya

Jenis Tower	Fungsi
Suspension tower	Menopang konduktor pada lintasan lurus dengan beban tarik minimum.
Tension tower	Digunakan pada perubahan arah lintasan, menahan gaya tarik lateral.
Transposition tower	Untuk menyilang posisi fasa demi menyeimbangkan induktansi antar fasa.
Dead-end tower	Titik akhir saluran, menahan beban tarik penuh dari konduktor.
Branch tower	Untuk percabangan saluran dari jalur utama.

2.2.9 *Software* Simulasi PLTS

Untuk membantu dalam merancang dan menganalisis PLTS, diperlukan perangkat lunak yang dapat mempermudah peneliti dalam proses tersebut. Berikut adalah beberapa perangkat lunak yang sering digunakan:

a. HelioScope

HelioScope adalah perangkat lunak simulasi yang memberikan informasi rinci tentang karakteristik sistem PLTS yang diusulkan. Dikembangkan oleh Folsom Labs, aplikasi ini dapat digunakan sebagai alat bantu dalam merancang dan menganalisis kelayakan PLTS baik secara teknis maupun finansial. HelioScope juga dapat

mensimulasikan rancangan PLTS dalam tampilan 3D dan terhubung dengan Google Earth, serta membaca data cuaca pada lokasi penelitian.

b. PVSyst

PVSyst adalah aplikasi yang digunakan untuk mempelajari pemasangan PLTS mulai dari pengukuran hingga analisis sistem PLTS *On-grid* dan *off-grid*. Dikembangkan oleh Andre Mermoud dan Michel Villoz, aplikasi ini dilengkapi dengan database iradiasi matahari yang luas dari berbagai sumber. PVSyst juga memiliki fitur 3D dan simulasi *shading* untuk memudahkan pengguna dalam merancang PLTS.

c. PVSOL

PVSOL adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh Valentin Software . Aplikasi ini digunakan untuk mensimulasikan sistem PLTS baik *On-grid* maupun *off-grid*, serta memberikan informasi tentang perkiraan energi yang dihasilkan dan estimasi kelayakan finansial. PVSOL juga menyediakan simulasi 3D dan simulasi *shading* untuk memperkirakan pengaruh orientasi bangunan dan objek lain di sekitarnya terhadap kinerja PLTS.[25]

d. Perbandingan Fitur HelioScope, PVSyst, dan PVSOL

Perbandingan fitur perangkat lunak HelioScope, PVSyst, dan PVSOL memberikan panduan tentang cara memilih aplikasi yang sesuai dengan kondisi lokasi penelitian, tingkat kemudahan penggunaan, dan tujuan penelitian.

Tabel 2. 2 Perbandingan fitur Helioscope, PVSyst dan PVSOL

Fitur	Helioscope	PVSyst	PVSOL
Basis	Web	Windows	Windows
Lingkup Simulasi	<i>On-grid</i>	<i>On-grid</i> , standalone, pumping	Beban Listrik, Baterai, Kendaraan Listrik, <i>on-grid</i>
Lisensi	Trial./berbayar bulanan	Trial/berbayar	Trial/Berbayar

3D Shading modeling	Sederhana	Ada	Ada
Import Data Iradiasi matahari	Tidak (Default Metronom)	Nasa, Meteonorm, PVGIS	Meteonorm, PVGIS, Solcast, Measure data
Skema Finansial	Sederhana	Kompleks	Kompleks
Antarmuka	Sederhana	Kompleks	Sederhana

Dari tabel 2.2 diketahui *software* Helioscope memiliki tampilan yang sederhana dan penggunaannya mudah sehingga *software* ini dipilih untuk mendesain potensi PLTS tower dilokasi penelitian pada tahap awal perencanaan. *Software* PVSyst dan PVSOL menawarkan fitur yang lebih lengkap dan kompleks sehingga cocok untuk digunakan pada tahap perencanaan lanjutan seperti menampilkan desain 3D lebih baik, dan menganalisa kelayakan perencanaan PLTS tower secara teknis dan finansial.