BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Relevan

Dalam penyusunan proposal ini, dibutuhkan adanya referensi dari penelitian relevan sebelumnya yang dapat menjadi acuan penulis untuk melakukan penelitian yang terkait, tinjauan pustaka terkait diantaranya:

(Md. Feroz Ali, dkk.) dalam penelitiannya yang berjudul "Grid-connected hybrid microgrids with PV/wind/battery: Sustainable energy solutions for rural education in Bangladesh" mengkaji penggunaan *microgrid* hibrida untuk mengatasi pemadaman listrik di institusi pendidikan pedesaan. Penelitian ini mensimulasikan integrasi panel surya (PV), turbin angin, dan sistem penyimpanan energi baterai (BESS) dengan jaringan listrik utama menggunakan perangkat lunak HOMER Pro. Hasil studi menunjukkan bahwa sistem hibrida ini tidak hanya meningkatkan keandalan pasokan listrik selama gangguan jaringan, tetapi juga secara signifikan mengurangi emisi karbon dan biaya energi jangka panjang. Penelitian ini relevan dalam memberikan perspektif mengenai integrasi baterai dan jaringan eksternal (PLN) untuk menjamin kontinuitas daya di fasilitas publik

(Amanda Halim, dkk.) dalam penelitiannya yang berjudul "Performance of Hybrid Solar Photovoltaic-Diesel Generator and Battery Storage Design for Rural Electrification in Malaysia" mengevaluasi performa sistem hibrida PV-Diesel untuk elektrifikasi daerah terpencil yang terisolasi dari jaringan utama. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak HOMER Pro untuk menentukan konfigurasi sistem yang paling optimal secara teknis dan ekonomis di bawah kondisi radiasi matahari tropis. Hasil penelitian menegaskan bahwa desain sistem hibrida jauh lebih andal dan ekonomis dibandingkan sistem pembangkit sumber tunggal. Hal ini sangat relevan dengan skenario Pulau Lemukutan dalam hal optimalisasi transisi dari ketergantungan diesel murni menuju sistem hibrida yang didukung oleh penyimpanan baterai.

(Divac Nabiel Akbar, dkk.) dalam penelitiannya yang berjudul "Studi Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik Hybrid Genset-PV di Wilayah Pesisir Kabupaten Malang" menganalisis peluang pengembangan energi terbarukan di wilayah pesisir untuk mendukung kemandirian energi masyarakat. Dengan menggunakan simulasi HOMER, penelitian ini menentukan konfigurasi terbaik yang menggabungkan unit genset eksisting dengan panel surya untuk menekan konsumsi bahan bakar fosil dan emisi gas rumah kaca. Penelitian ini sangat relevan dengan penelitian Anda karena memiliki kemiripan

karakteristik lokasi, yaitu wilayah pesisir, serta fokus pada integrasi operasional antara genset dan PV untuk meningkatkan efisiensi energi

(Sabah Ahmed Abdul-Wahab, dkk.) dalam penelitiannya yang berjudul "Design and evaluation of a hybrid energy system for Masirah Island in Oman" mengevaluasi perancangan sistem energi hibrida untuk wilayah kepulauan. Penelitian ini menyoroti tantangan teknis dalam menyediakan listrik di pulau yang terisolasi dan mengusulkan kombinasi sumber energi terbarukan untuk mengurangi biaya operasional yang tinggi dari pembangkit diesel konvensional. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sistem hibrida mampu memberikan stabilitas tegangan dan keandalan suplai yang lebih baik bagi populasi pulau. Jurnal ini memperkuat dasar teori Anda mengenai kelayakan sistem hibrida untuk diterapkan secara spesifik pada geografis kepulauan seperti Pulau Lemukutan

(Jamiu Omotayo Oladigbolu, dkk.) dalam penelitiannya yang berjudul "Optimal Design of a Hybrid PV Solar/Micro-Hydro/Diesel/Battery Energy System for a Remote Rural Village under Tropical Climate Conditions" membahas optimasi desain sistem energi hibrida di wilayah dengan iklim tropis menggunakan alat analisis HOMER. Penelitian ini membandingkan beberapa konfigurasi sistem untuk menemukan solusi yang paling seimbang antara performa teknis, biaya ekonomi, dan dampak lingkungan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa integrasi PV dengan baterai dan diesel memberikan solusi paling optimal untuk pedesaan terpencil. Penelitian ini relevan sebagai referensi dalam menentukan strategi manajemen beban pada kondisi iklim tropis yang serupa dengan lokasi penelitian Anda

(Dinesh Nain dan Deepak Kumar) dalam penelitiannya yang berjudul "Performance Analysis of Hybrid PV/Diesel Power Generation System with Battery Storage" mengkaji strategi kontrol untuk mengoordinasikan operasional antara panel surya, unit diesel, dan sistem penyimpanan baterai. Fokus utama penelitian ini adalah pada pengembangan logika kontrol untuk proses pengisian dan pengosongan (*charging/discharging*) baterai agar pemanfaatan energi surya dapat maksimal dan penggunaan bahan bakar diesel dapat diminimalisir. Penelitian ini sangat relevan dengan rumusan masalah Anda mengenai rancangan teknis sistem hybrid yang optimal, khususnya dalam hal pengaturan manajemen energi untuk mencapai target operasional 24 jam

(Samsurizal, dkk.) dalam penelitiannya yang berjudul "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat Di Kecamatan Embaloh Hulu" mengulas mengenai pemanfaatan potensi energi matahari sebagai solusi penyediaan energi listrik di wilayah perbatasan yang belum teraliri listrik. Penelitian ini menyoroti permasalahan rendahnya

tingkat elektrifikasi dan tingginya ketergantungan pada energi fosil, sehingga diperlukan diversifikasi energi melalui pembangunan PLTS berdasarkan pengamatan geografis dan demografi. Metode yang digunakan meliputi survei lapangan untuk mengumpulkan data kebutuhan beban masyarakat, pengukuran koordinat lokasi, orientasi, serta analisis potensi *shading* dan kondisi meteorologi seperti intensitas penyinaran matahari. Hasil analisis menunjukkan bahwa untuk memenuhi total kebutuhan energi listrik sebesar 288,1 kWh/hari (termasuk cadangan 30% dan rugi-rugi sistem 30%), diperlukan komponen teknis berupa 444 unit panel surya, 42 unit baterai, 8 unit *Battery Charge Controller*, dan 10 unit inverter. Investasi yang dibutuhkan untuk implementasi sistem ini diperkirakan mencapai Rp23.466.264.000. Penelitian ini relevan karena memberikan kerangka teknis mengenai perhitungan kebutuhan komponen, pengaruh rugi-rugi sistem (*losses*), dan pentingnya penempatan panel surya untuk menghindari hambatan objek agar dapat menghasilkan daya yang optimal di wilayah terpencil.

(Dwi Listiawati, dkk.) dalam penelitiannya yang berjudul "Prediksi Degradasi Daya Modul Photovoltaic Polycrystalline Menggunakan Random Forest" membahas mengenai penurunan performa panel surya yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan teknis. Penelitian ini menyoroti bahwa variasi sudut kemiringan, intensitas iradiasi matahari, dan suhu modul menyebabkan degradasi daya yang bersifat nonlinier, sehingga sulit diprediksi dengan metode konvensional. Metode yang digunakan adalah pendekatan *machine learning* dengan algoritma *Random Forest* untuk memodelkan data hasil pengukuran lapangan dengan variasi sudut kemiringan 0°-65. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model *Random Forest* memiliki tingkat akurasi yang sangat tinggi dalam memprediksi degradasi daya, dengan nilai *Mean Squared Error* (MSE) sebesar 0,00043 dan koefisien determinasi (R^2)mencapai 0,98. Penelitian ini sangat relevan karena memberikan pemahaman mengenai pentingnya faktor eksternal seperti suhu dan sudut kemiringan terhadap efisiensi panel surya. Bagi penelitian PLTS Atap di Pulau Lemukutan, hasil ini menjadi acuan teknis dalam mempertimbangkan degradasi daya jangka panjang dan optimalisasi sudut kemiringan panel pada atap rumah warga guna menjaga keandalan suplai energi 24 jam.

(Heri Suyanto, dkk.) dalam penelitiannya yang berjudul "Optimization Analysis Of Output Of Photovoltaic Types On The Effect Of Solar Temperature And Radiation" meneliti perbandingan optimalisasi *output* daya pada dua tipe modul fotovoltaik, yaitu *monocrystalline* dan *polycrystalline*, terhadap pengaruh suhu dan radiasi matahari. Penelitian ini menekankan bahwa meskipun panel surya beroperasi optimal pada suhu standar 25°C, kenaikan suhu permukaan panel pada kondisi lapangan dapat menurunkan

efisiensi daya keluaran. Metode yang digunakan adalah pengujian eksperimental dengan membandingkan performa modul berkapasitas 40 Wp dan 100 Wp di bawah variasi radiasi matahari hingga mencapai 914,2 W/m^2). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan intensitas radiasi matahari berbanding lurus dengan arus yang dihasilkan, namun suhu yang terlalu tinggi pada modul (mencapai 43°C) memberikan pengaruh terhadap tegangan kerja panel. Penelitian ini sangat relevan sebagai referensi teknis dalam memilih tipe panel yang paling sesuai untuk karakteristik iklim tropis di Pulau Lemukutan. Data mengenai karakteristik *output* daya terhadap suhu dan radiasi ini membantu memperkuat akurasi perencanaan sistem PLTS Atap Hybrid agar tetap mampu beroperasi secara maksimal meskipun terpapar suhu lingkungan pesisir yang tinggi.

(Nur Aldillah Julita dan Syamsir Abduh) dalam penelitiannya yang berjudul "Pengaruh Intensitas Radiasi dan Durasi Penyinaran Matahari Terhadap Muatan Listrik Baterai PLTS: Studi Kasus Pada PLTS Institut Teknologi PLN" menganalisis variabel lingkungan yang memengaruhi efisiensi penyimpanan energi pada sistem PLTS *off-grid*. Penelitian ini berfokus pada bagaimana intensitas radiasi dan lamanya matahari bersinar setiap harinya menentukan optimalisasi pengisian muatan listrik pada baterai sebagai penyimpan energi utama. Metode yang digunakan adalah analisis statistik deskriptif dan uji regresi (linier serta non-linier) terhadap data operasional selama satu tahun penuh untuk melihat korelasi antar variabel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa intensitas radiasi matahari memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap arus pengisian baterai, di mana model regresi kubik ditemukan sebagai model yang paling akurat dalam menggambarkan hubungan tersebut dengan nilai koefisien determinasi (R^2) yang tinggi. Penelitian ini sangat relevan dengan rancangan PLTS Atap Hybrid di Pulau Lemukutan, khususnya dalam menentukan strategi manajemen energi baterai. Data mengenai durasi penyinaran ini menjadi acuan penting untuk memastikan baterai 5 kWh yang direncanakan dapat terisi secara optimal di siang hari guna menyuplai beban pada malam hari secara berkelanjutan.

(Retno Aita Diantari, dkk.) dalam penelitiannya yang berjudul "Power Energy Export Import Metering Performance System On PLTS On Grid In The Laboratory Renewable Energy Institute Of Technology PLN**"** mengkaji performa sistem meteran ekspor-impor (EXIM) pada instalasi PLTS *on-grid*. Penelitian ini bertujuan untuk memahami efisiensi distribusi daya antara produksi panel surya, beban lokal (laboratorium), dan jaringan PLN, serta dampaknya terhadap penghematan biaya listrik. Metode yang digunakan adalah kuantitatif dengan melakukan pengukuran langsung pada konfigurasi kWh meter EXIM untuk memantau aliran daya yang diekspor ke jaringan dan yang digunakan secara mandiri.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi daya dari PLTS tidak seluruhnya dikirim ke jaringan PLN; sebagian besar dialokasikan untuk menyuplai beban internal, yang secara langsung meningkatkan efisiensi penggunaan energi terbarukan di sisi konsumen. Penelitian ini sangat relevan sebagai referensi dalam merancang sistem hybrid di Pulau Lemukutan, terutama dalam memahami interaksi antara sumber daya PLTS dengan jaringan PLN melalui sistem *metering*. Hal ini mendukung konsep manajemen energi 24 jam yang Anda usulkan, di mana sinkronisasi antara produksi surya dan cadangan PLN menjadi kunci keberhasilan sistem.

(Pawenary, dkk.) dalam penelitiannya yang berjudul **"**Analisa Studi Kelayakan Pembangunan PLTS 10 kWp di Graha YPK PLN**"** membahas mengenai perencanaan sistem PLTS sebagai sumber energi alternatif untuk mengurangi ketergantungan pada listrik konvensional. Penelitian ini memfokuskan pada perancangan sistem PLTS *On-Grid* dengan memanfaatkan luas area tertentu untuk penempatan modul surya guna menyuplai kebutuhan beban gedung. Metode yang digunakan adalah analisis kuantitatif teknis untuk menentukan kapasitas komponen, yang meliputi penggunaan 24 unit modul surya berkapasitas 450 Wp, satu unit inverter 15,3 kW, serta pengolahan data radiasi matahari harian yang rata-rata mencapai 4,67 kWh/m^2). Hasil analisis menunjukkan bahwa dengan luasan area 52m^2) , sistem mampu menghasilkan energi yang signifikan untuk mendukung kebutuhan energi bulanan. Penelitian ini sangat relevan karena memberikan gambaran teknis mengenai penggunaan panel surya dengan kapasitas besar (450 Wp) yang mendekati spesifikasi rencana Anda (425 Wp). Selain itu, studi ini memperkuat argumen mengenai efisiensi pemanfaatan ruang terbatas untuk instalasi panel surya, yang sejalan dengan rencana penggunaan atap rumah panggung di Pulau Lemukutan.

(Samsurizal, dkk.) dalam penelitiannya yang berjudul "Studi Kelayakan Pemanfaatan Energi Matahari Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Dusun Toalang" mengkaji potensi pengembangan PLTS sebagai solusi penyediaan energi di daerah yang jauh dari jaringan listrik utama. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelayakan teknis dan ekonomis pembangunan PLTS dengan mempertimbangkan kondisi geografis serta kebutuhan beban harian masyarakat setempat. Metode yang digunakan mencakup pengumpulan data lapangan, perancangan konfigurasi sistem, serta simulasi untuk mendapatkan desain dengan aspek biaya terendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi PLTS di lokasi tersebut layak secara teknis untuk memenuhi kebutuhan energi warga dan mampu menjadi sumber energi mandiri yang berkelanjutan. Penelitian ini sangat relevan dengan rencana Anda di Pulau Lemukutan karena memberikan metodologi dalam

menentukan studi kelayakan sistem di wilayah terpencil. Selain itu, penekanan pada simulasi perancangan untuk mendapatkan hasil yang optimal mendukung penggunaan metode serupa (Helioscope) dalam penelitian Anda guna menjamin efisiensi sistem PLTS Atap Hybrid.

(Miftahul Fikri, dkk.) dalam penelitiannya yang berjudul "Optimasi Daya Keluaran PLTS Berdasarkan Sudut Kemiringan di Institut Teknologi PLN Jakarta" membahas mengenai pentingnya penentuan sudut kemiringan panel surya yang paling optimal untuk memaksimalkan penyerapan intensitas radiasi matahari. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana perubahan sudut kemiringan memengaruhi peningkatan daya keluaran modul fotovoltaik. Metode yang digunakan adalah kuantitatif korelasi dengan pendekatan *regretion quadratic method* untuk memodelkan hubungan antara sudut kemiringan dan daya yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model regresi kuadratik yang dikembangkan memiliki akurasi yang sangat baik dengan nilai R^2) = 0,9273$ dan *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 0,160. Berdasarkan optimasi tersebut, ditemukan bahwa sudut kemiringan sebesar 33,7° menghasilkan daya keluaran maksimal sebesar 8,87 W pada objek uji. Penelitian ini sangat relevan sebagai acuan teknis dalam menentukan sudut kemiringan panel surya pada atap rumah panggung di Pulau Lemukutan. Data ini memperkuat analisis Anda mengenai efisiensi desain fisik PLTS Atap agar dapat mencapai target energi yang direncanakan meski berada pada posisi atap yang bervariasi.

(Septianissa Azzahra, dkk.) dalam penelitiannya yang berjudul "Solar Power Plant Grid Interactive and Building Integration Photovoltaic" mengkaji penerapan sistem PLTS yang terintegrasi dengan gedung (*Building Integrated Photovoltaic*/BIPV) dan jaringan listrik (*Grid Interactive*). Penelitian ini menyoroti bahwa sistem PLTS interaktif merupakan solusi hibrida yang efektif untuk mengurangi biaya investasi karena dapat beroperasi secara optimal dalam menyuplai beban pada siang hari. Metode yang digunakan adalah analisis kualitatif dan teknis mengenai keunggulan sistem interaktif dibandingkan dengan *Solar Home System* (SHS) konvensional, terutama dalam hal kemudahan integrasi dengan peralatan elektronik rumah tangga dan jaringan listrik yang sudah ada. Hasil penelitian menekankan bahwa konfigurasi hibrida antara PV dan sumber energi lain (seperti jaringan listrik atau genset) dapat menutupi ketidakefisienan operasional dan pemeliharaan pada sistem pembangkit tunggal. Penelitian ini sangat relevan dengan konsep PLTS Atap Hybrid di Pulau Lemukutan karena memberikan landasan mengenai pentingnya sistem interaktif yang menggabungkan potensi surya dengan jaringan yang ada (PLN) untuk meningkatkan efisiensi energi tanpa harus bergantung sepenuhnya pada satu sumber pembangkit saja

(Riki Bidasaradi, UIN Suska Riau) Dengan Penelitian yang berjudul "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat Off-Grid System (studi kasus: Desa Air Hitam Kabupaten Rokan Hilir, Riau)". Penelitian ini berfokus pada perancangan sistem PLTS terpusat off-grid untuk Desa Air Hitam, Riau, yang belum terjangkau listrik PLN karena akses geografis yang sulit. Tujuannya adalah merancang sistem PLTS yang optimal dari aspek teknis, kerugian (losses), ekonomi, dan emisi, guna meningkatkan rasio elektrifikasi desa. Metode perancangan teknis mengacu pada standar Australian/New Zealand Standard AS/NZS 4509.2:2010. Dilakukan studi potensi energi surya (4,82 kWh/m²/hari), studi beban listrik (melalui survei dan perhitungan rumus Slovin untuk sampel 10% dari 195 KK + fasilitas umum), pemilihan komponen, dan simulasi menggunakan software PVsyst V6.61 untuk analisis performa, kerugian, ekonomi (LCC, NPV, PBP, LCOE), dan pengurangan emisi CO2 selama umur proyek 20 tahun. Hasil perancangan menunjukkan kebutuhan sistem dengan total kapasitas 572.454 kWh (beban harian 1.156 kWh), memerlukan 330 modul surya 300 Wp, 420 baterai 1000 Ah, 1 inverter 150 kW, dan 26 unit SCC 300 A. Simulasi PVsyst memvalidasi perancangan ini, menghasilkan total produksi listrik tahun pertama 397,56 MWh/tahun dengan kerugian sistem 46,5 MWh/tahun. Analisis ekonomi menunjukkan biaya investasi awal Rp 24,9 Miliar, NPV positif Rp 12,6 Miliar, dan Payback Period (PBP) 8 tahun. Dari aspek lingkungan, sistem ini mampu mengurangi emisi CO2 sebesar 81,22 ton/tahun atau 1.624,55 ton selama 20 tahun.

(Yulius Salu Pirade, Universitas Tadulako) Dengan Penelitian yang berjudul "Analisis Partisipasi Masyarakat Dalam Perencanaan, Pemasangan Dan Pemeliharaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Di Desa Olu Kecamatan Lindu Kabupaten Poso". Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat partisipasi masyarakat dan peran lembaga lokal dalam tiga tahapan proyek PLTS (perencanaan, pemasangan, dan pemeliharaan) di Dusun Sangali, Desa Olu, Kabupaten Sigi (sebelumnya bagian dari Poso). PLTS ini merupakan bantuan pemerintah pusat tahun 2012 untuk masyarakat tidak mampu yang belum terjangkau listrik. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan dukungan kualitatif, melalui penyebaran kuesioner kepada 92 KK pengguna PLTS (sensus), wawancara dengan informan (aparat desa, pengurus lembaga lokal, operator), observasi, dan FGD. Tingkat partisipasi diukur menggunakan Skala Likert. Hasil penelitian menunjukkan tingkat partisipasi masyarakat yang bervariasi di setiap tahapan. Pada tahap perencanaan, partisipasi masyarakat termasuk dalam kategori Kurang Baik (skor 54,91%), disebabkan adanya isu negatif awal dan kurangnya keterlibatan aktif dalam pemberian masukan pembentukan

aturan. Pada tahap pemasangan (pelaksanaan pembangunan fisik), partisipasi masyarakat masuk kategori Baik (skor 79,61%), terlihat dari antusiasme dalam kerja bakti pembersihan lokasi, penggalian, hingga pengecoran. Pada tahap pemeliharaan, partisipasi masyarakat berada pada kategori Sangat Baik (skor 82,13%), menunjukkan rasa memiliki dan kesadaran tinggi dalam menjaga keberlanjutan PLTS, meskipun ada kendala pendanaan. Peran lembaga lokal (BPD, LMD, Lembaga Adat) dinilai cukup tinggi dalam mendukung program melalui sosialisasi, menampung aspirasi, dan fasilitasi pertemuan, didorong oleh koordinasi yang baik dengan pemerintah desa.

(Riski Budi Sujito, UNISSULA) Dengan Penelitian yang berjudul "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap Dengan Sistem Hybrid Di Hotel Mahkota Pati". Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan sistem PLTS atap dengan konfigurasi hibrida untuk Hotel Mahkota Pati, guna memanfaatkan potensi energi surya dan membantu memenuhi kebutuhan listrik hotel yang saat ini dipasok oleh PLN dengan daya 33 kVA. Metode penelitian meliputi survei lokasi, pengumpulan data primer (konsumsi energi listrik harian/bulanan hotel, dimensi atap) dan data sekunder (data iradiasi matahari dari NASA via software HOOMER PRO, spesifikasi komponen). Perencanaan kapasitas PLTS didasarkan pada luas atap yang tersedia (total 473,5 m^2) dan target kontribusi energi PLTS sekitar 65% dari rata-rata konsumsi harian (121,65 kWh). Dilakukan perhitungan untuk menentukan jumlah panel surya (Jinko 405 Wp Monocrystalline), kapasitas inverter hibrida, jumlah baterai VRLA (12V 200Ah), dan penyusunan array panel. Analisis performa sistem dievaluasi menggunakan parameter Performance Ratio (PR). Hasil perencanaan menunjukkan bahwa dengan luas atap yang tersedia, dapat dipasang 48 panel surya 405 Wp, menghasilkan kapasitas total 19,4 kWp. Sistem ini dirancang dengan 2 array (masing-masing 24 panel: 8 seri x 3 paralel) yang ditempatkan di dua bagian atap berbeda. Dibutuhkan 11 unit baterai 12V 200Ah dan 2 unit inverter hibrida berkapasitas masing-masing 13 kW. Sistem PLTS ini diproyeksikan mampu menghasilkan energi harian sekitar 84,56 kWh (dengan iradiasi terendah 4,38 kWh/m^2/hari), yang dapat memenuhi sekitar 69% dari kebutuhan energi listrik harian hotel. Sisa kebutuhan 31% dipenuhi oleh PLN. Nilai Performance Ratio (PR) sistem diperkirakan mencapai 79%, menunjukkan bahwa sistem PLTS hibrida ini layak secara teknis untuk diimplementasikan di Hotel Mahkota Pati.

(Humaidi dkk., Universitas Tanjungpura) Dengan Penelitian yang berjudul "Studi Teknis Dan Ekonomis Sistem Energi Hibrida Diesel-Surya-Angin Di Pulau Lemukutan Kabupaten Bengkayang". Penelitian ini mengkaji potensi penerapan sistem energi hibrida (Diesel-Surya-Angin) di Pulau Lemukutan sebagai alternatif pengganti PLTD eksisting (140

kW, operasi 14 jam/hari) untuk memenuhi kebutuhan listrik selama 24 jam secara lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Metode penelitian melibatkan survei kondisi kelistrikan eksisting, analisis potensi energi terbarukan (surya dan angin) menggunakan data sekunder dan simulasi software HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables). HOMER digunakan untuk menganalisis berbagai konfigurasi sistem hibrida (diesel-surya, diesel-surya-angin, diesel saja, dll.) dari aspek teknis (kapasitas komponen, produksi energi) dan ekonomis (Net Present Cost/NPC, Levelized Cost of Energy/LCOE, Annualized Cost, Operational Cost). Hasil analisis menunjukkan kebutuhan energi listrik pulau sebesar 1.186,17 kWh/hari atau 432.953 kWh/tahun. Konfigurasi sistem hibrida yang paling optimal secara teknis dan ekonomis adalah kombinasi Diesel-Surya. Sistem ini terdiri dari PLTD 140 kW, PLTS 85,4 kWp, 239 string baterai, dan konverter 57,1 kW. Produksi energi total sistem ini mencapai 499.131 kWh/tahun (368.989 kWh dari diesel, 130.142 kWh dari surya). Secara ekonomis, sistem Diesel-Surya ini memiliki NPC Rp 38,5 Miliar, Annualized Cost Rp 1,74 Miliar, Operational Cost Rp 1,5 Miliar, dan LCOE Rp 4.031/kWh. Sebagai perbandingan, sistem PLTD saja (140 kW) memiliki NPC Rp 45,7 Miliar, Annualized Cost Rp 2,06 Miliar, Operational Cost Rp 2,02 Miliar, dan LCOE Rp 4.399/kWh. Dengan demikian, sistem hibrida Diesel-Surya terbukti lebih ekonomis dengan potensi penghematan mencapai 16,30% dibandingkan sistem PLTD saja, sehingga direkomendasikan untuk diterapkan di Pulau Lemukutan. Potensi energi angin dinilai kurang optimal untuk dikembangkan.

(Yulianus Salasa dkk., UNSRAT) Dengan Penelitian yang berjudul "Studi Elektrifikasi Daerah Terluar Khususnya di Kabupaten Kepulauan Talaud". Penelitian ini berfokus pada studi kelayakan teknis dan ekonomis penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PLTH) berbasis energi surya dan angin untuk elektrifikasi Pulau Kakorotan, sebuah pulau kecil terluar di Kabupaten Kepulauan Talaud yang kebutuhan listriknya belum terpenuhi secara memadai oleh PLTS terpusat 50 kW eksisting. Tujuan utamanya adalah menentukan konfigurasi PLTH yang optimal menggunakan software simulasi HOMER V2.81. Metode penelitian meliputi pengumpulan data primer (kondisi kelistrikan eksisting, data penduduk 232 KK) dan data sekunder (data potensi energi angin rata-rata 2,87 m/s, data radiasi matahari dari NASA via HOMER rata-rata 4,97 kWh/m²/hari). Data beban listrik diasumsikan berdasarkan pola pemakaian umum dengan kebutuhan rata-rata 489 kWh/hari dan beban puncak 67,4 kW. Beberapa konfigurasi PLTH (PV + Angin 1 kW, PV + Angin 3 kW, PV + Angin 1 kW + Angin 3 kW) disimulasikan di HOMER untuk mendapatkan sistem dengan Net Present Cost (NPC) terendah. Hasil simulasi menunjukkan konfigurasi optimal

adalah kombinasi PLTS dan turbin angin 3 kW (HY-3000L). Sistem ini terdiri dari 100 kWp PV (328 panel 305 Wp), 18 unit turbin angin 3 kW, 360 unit baterai (Surrette 4KS25P 4V 1350Ah), dan 70 kW konverter. Total produksi energi listrik sistem ini mencapai 271.518 kWh/tahun (68% dari PV, 32% dari angin), mampu memenuhi konsumsi beban 178.367 kWh/tahun, dengan kelebihan energi (excess electricity) sebesar 57.396 kWh/tahun (21,1%). Secara ekonomis, sistem ini memiliki total NPC sebesar US$ 974.767 dan biaya pembangkitan (Cost of Energy/COE) sebesar US$ 0,428 per kWh. Penelitian ini menyimpulkan bahwa PLTH berbasis surya dan angin layak secara teknis dan ekonomis untuk meningkatkan elektrifikasi di Pulau Kakorotan.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap atau rooftop solar power system adalah sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan energi matahari dengan memasang modul fotovoltaik (PV) di atas atap bangunan, seperti rumah tinggal, gedung komersial, industri, maupun fasilitas umum. Sistem ini mengubah energi radiasi matahari secara langsung menjadi energi listrik arus searah (DC) melalui efek fotovoltaik pada sel surya. Energi DC ini kemudian dapat dikonversikan menjadi arus bolak-balik (AC) menggunakan inverter agar sesuai dengan kebutuhan peralatan listrik pada umumnya dan dapat diintegrasikan dengan jaringan listrik yang ada (jika sistem on-grid atau hybrid).

Pemanfaatan atap sebagai lokasi pemasangan PLTS memiliki beberapa keuntungan, antara lain:

1. Optimalisasi Lahan: Menggunakan area atap yang umumnya tidak terpakai secara produktif, sehingga tidak memerlukan lahan tambahan khusus.
2. Mengurangi Rugi-Rugi Transmisi: Listrik yang dihasilkan dekat dengan titik konsumsi (beban), sehingga mengurangi kehilangan energi yang terjadi pada saluran transmisi dan distribusi jarak jauh.
3. Potensi Penghematan Biaya Listrik: Dapat mengurangi tagihan listrik dari penyedia utama (misalnya PLN) karena sebagian atau seluruh kebutuhan listrik dipasok oleh PLTS.
4. Ramah Lingkungan: Menghasilkan energi bersih tanpa emisi gas rumah kaca selama operasinya.

Komponen utama sistem PLTS Atap umumnya meliputi:

- Modul Surya (Panel PV):

  Komponen utama yang menangkap sinar matahari dan mengkonversinya menjadi listrik DC. Terdiri dari rangkaian sel surya.

- Inverter:

  Perangkat elektronik yang mengubah listrik DC dari modul surya (dan baterai jika ada) menjadi listrik AC 220V/380V dengan frekuensi 50 Hz (standar Indonesia).

- Sistem Pemasangan (Mounting System):

  Struktur rangka penyangga untuk memasang modul surya di atap dengan aman, kokoh, dan dengan orientasi serta sudut kemiringan yang optimal.

- Balance of System (BOS):

  Komponen pendukung lainnya seperti kabel DC dan AC, konektor, combiner box, sistem proteksi (MCB, sekring, surge arrester), sistem pemantauan (monitoring system), dan baterai (untuk sistem off-grid atau hybrid).

Gambar 2.2. 1 Energi dan Perkembangannya
(Sumber: avlf)

2.2.2 Sistem Hibrida (System Hybrid)

Gambar 2.2. 2 Energi Baru Terbarukan (EBT)
(Sumber: jpost)

Sistem Pembangkit Listrik Hibrida adalah sistem pembangkitan energi listrik yang menggabungkan dua atau lebih sumber energi berbeda untuk bekerja secara terintegrasi dalam menyuplai beban listrik. Tujuan utama sistem hibrida adalah untuk meningkatkan keandalan pasokan listrik, mengoptimalkan pemanfaatan sumber energi (terutama energi terbarukan), dan mengurangi biaya operasi atau ketergantungan pada satu jenis sumber energi saja.

Dalam konteks penyediaan listrik di daerah terpencil atau pulau seperti Pulau Lemukutan, konfigurasi sistem hibrida yang umum digunakan adalah PLTS-Diesel. Sistem ini mengkombinasikan keunggulan PLTS sebagai sumber energi bersih dan gratis (setelah investasi awal) dengan keandalan generator diesel sebagai sumber energi konvensional yang dapat dioperasikan kapan saja.

Prinsip kerja dasar sistem hibrida PLTS-Diesel (dengan baterai sebagai penyimpan energi) adalah:

1. Prioritas Energi Surya: Ketika matahari bersinar, energi listrik yang dihasilkan PLTS diprioritaskan untuk langsung menyuplai beban dan mengisi baterai.
2. Pemanfaatan Energi Baterai: Ketika produksi PLTS tidak mencukupi beban (misalnya saat mendung atau malam hari), energi yang tersimpan di baterai akan digunakan untuk menyuplai beban.

3. Generator Diesel sebagai Cadangan/Pelengkap: Generator diesel akan dioperasikan hanya ketika produksi PLTS tidak ada atau tidak mencukupi dan energi dalam baterai sudah mencapai batas minimum (Depth of Discharge - DoD) yang ditentukan. Genset berfungsi untuk menyuplai beban dan dapat juga digunakan untuk mengisi ulang baterai.

Manajemen energi yang cerdas pada sistem kontrol hibrida sangat penting untuk memastikan operasi yang efisien, memaksimalkan penggunaan energi surya, meminimalkan penggunaan bahan bakar diesel, dan menjaga kesehatan baterai. Keuntungan sistem hibrida PLTS-Diesel untuk daerah terpencil antara lain:

- Ketersediaan Listrik 24 Jam: Kombinasi sumber energi dan penyimpanan memungkinkan pasokan listrik yang kontinu.
- Penghematan Bahan Bakar: Mengurangi konsumsi bahan bakar diesel secara signifikan dibandingkan jika hanya mengandalkan genset.
- Mengurangi Emisi: Menurunkan emisi gas buang dan polusi suara dari operasi genset.
- Meningkatkan Pemanfaatan Energi Terbarukan: Memaksimalkan penggunaan potensi energi surya lokal.

2.2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu bentuk pemanfaatan energi baru terbarukan yang paling menjanjikan di dunia, termasuk di Indonesia. PLTS bekerja berdasarkan prinsip efek fotovoltaik, yaitu fenomena di mana energi cahaya matahari diubah menjadi energi listrik melalui sel surya berbahan semikonduktor, umumnya silikon. Ketika foton dari cahaya matahari mengenai permukaan sel surya, elektron pada lapisan semikonduktor akan tereksitasi dan berpindah, sehingga menghasilkan arus listrik searah (DC). Arus ini kemudian diubah menjadi arus bolak-balik (AC) menggunakan inverter agar sesuai dengan kebutuhan perangkat listrik rumah tangga maupun industri.

PLTS dapat dibedakan menjadi beberapa kategori berdasarkan konfigurasi sistemnya. Pertama, PLTS on-grid, yaitu sistem yang terhubung langsung ke jaringan listrik PLN. Dalam skema ini, energi listrik dari PLTS dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan internal pengguna, sedangkan kelebihan energi dapat diekspor ke jaringan PLN melalui mekanisme net metering. Kedua, PLTS off-grid, yaitu sistem yang berdiri sendiri tanpa terhubung ke jaringan PLN. Sistem ini biasanya dilengkapi dengan baterai penyimpanan energi untuk menyediakan listrik di malam hari atau saat matahari tidak bersinar. Ketiga, PLTS hybrid,

yaitu kombinasi antara PLTS dengan sumber energi lain seperti genset atau pembangkit listrik tenaga angin, sehingga lebih andal dan fleksibel.

Gambar 2.2. 3 Energi Matahari
(Sumber : Refo Madangsay, Achmad Prasetyo)

Keunggulan PLTS adalah ketersediaan energi surya yang sangat melimpah, khususnya di negara tropis seperti Indonesia. Dengan intensitas radiasi matahari rata-rata 4,8 - 5,1 kWh/m² per hari, potensi teknis PLTS di Indonesia diperkirakan mencapai lebih dari 200 GWp. Selain itu, PLTS ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi karbon selama proses operasional. Hal ini berbeda dengan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) berbahan bakar batu bara yang menghasilkan emisi karbon dioksida dalam jumlah besar. Keunggulan lain adalah sifat modular dan skalabilitasnya; PLTS dapat dipasang dalam skala kecil untuk rumah tangga maupun skala besar untuk pembangkit listrik nasional.

Namun, PLTS juga memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Produksi listrik PLTS bersifat intermiten karena sangat bergantung pada intensitas cahaya matahari. Pada musim hujan atau saat cuaca mendung, produksi listrik dapat menurun signifikan. Selain itu, biaya investasi awal pemasangan PLTS masih tergolong tinggi, terutama jika dilengkapi dengan sistem penyimpanan energi. Keterbatasan lahan juga menjadi persoalan ketika membangun PLTS skala besar, terutama di kawasan perkotaan dengan kepadatan tinggi.

Sebagai solusi, inovasi teknologi terus berkembang. Salah satunya adalah pengembangan PLTS terapung yang dipasang di atas permukaan waduk atau danau. Teknologi ini tidak hanya mengatasi keterbatasan lahan, tetapi juga meningkatkan efisiensi panel surya karena adanya pendinginan alami dari permukaan air. Contoh implementasi adalah PLTS Terapung Cirata dengan kapasitas 192 MWp, yang merupakan PLTS terapung terbesar di Asia Tenggara. Selain itu, perkembangan teknologi sel surya seperti sel bifacial

(dua sisi), sel perovskite, dan kombinasi tandem cell juga menjanjikan peningkatan efisiensi yang signifikan di masa depan.

Dengan segala kelebihan dan kekurangannya, PLTS menjadi bagian penting dalam strategi diversifikasi energi Indonesia. Teknologi ini tidak hanya relevan untuk sektor perkotaan yang memiliki akses jaringan listrik, tetapi juga sangat bermanfaat untuk desa-desa terpencil melalui sistem off-grid yang meningkatkan rasio elektrifikasi nasional.

2.2.4 Panel Surya (Solar Cell)

Panel surya adalah perangkat semikonduktor yang mengubah energi matahari menjadi listrik dengan memanfaatkan prinsip fotovoltaik. Modul surya terdiri dari sejumlah sel surya, sementara panel surya adalah kumpulan dari beberapa modul surya. Tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sel surya dipengaruhi oleh dua faktor fisik, yaitu intensitas sinar matahari dan suhu. Intensitas energi matahari yang diterima sel surya berbanding lurus dengan tegangan dan arus yang dihasilkan. Namun, ketika suhu lingkungan meningkat dan intensitas sinar matahari tetap, tegangan panel surya akan menurun dan arus akan meningkat (Suryana D, 2016). Ada juga rumus yang digunakan salah satunya yaitu rumus untuk menghitung daya yang dihasilkan oleh Panel surya untuk menentukan kapasitas panel yang dimana persamaannya :(Fitra Zambak et al., n.d).

Keterangan :

- P : Total daya komponen
- V : Tegangan Komponen
- I : Arus komponen

Gambar 2.2. 4 Modul Surya (Sel Surya)
(Sumber: ETAP 2016)

Jumlah energi yang dapat dihasilkan oleh panel surya sangat dipengaruhi oleh ketersediaan sinar matahari, yang pada dasarnya bergantung pada arah dan posisi modul surya terhadap sumber cahaya. Ketika modul surya menerima paparan sinar matahari, sel surya akan memproduksi arus listrik. Besarnya arus listrik yang dihasilkan sebanding dengan tingkat intensitas cahaya matahari yang diterima oleh permukaan panel. Intensitas ini akan bervariasi mengikuti pergerakan posisi matahari sepanjang hari (Sihite, 2021). Pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), prinsip kerjanya adalah mengubah energi elektromagnetik dari sinar matahari menjadi energi listrik. Pembangkit tenaga surya ini sangat sesuai digunakan di wilayah terpencil yang sulit dijangkau jaringan listrik atau di area terbuka yang tidak terhalang bayangan. Oleh karena itu, terdapat beberapa pertimbangan penting mengapa teknologi PLTS menjadi pilihan yang tepat.

- Penghasil energi tanpa biaya dan melimpah
- Penghasil enerji disemua tempat tanpa perlu memindahkan
- Operasional yang dikeluarkan untuk perawatan PLTS bisa dibilang kecil
- Tanpa perlu operator ahli dalam pengoperasian
- Sangat ramah terhapat alam, tanpa mengeluarkan gas emisi yang dapat merusak lingkungan

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan model tersebar umumnya lebih terjangkau secara biaya sehingga banyak dipilih, meskipun penerapan PLTS terpusat juga cukup luas. Diharapkan keberadaan PLTS dapat menghasilkan daya listrik yang optimal, mendukung penggunaan energi secara efisien, ramah lingkungan karena tidak menimbulkan polusi, serta bermanfaat untuk kebutuhan masyarakat secara umum. Sistem PLTS tersebar sangat sesuai diterapkan di wilayah permukiman yang letaknya berjauhan satu sama lain.

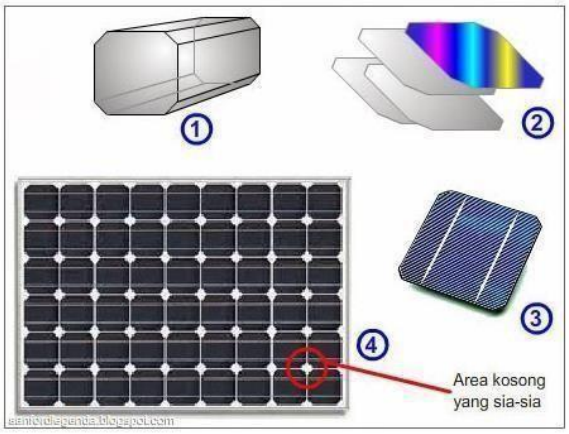
Selain itu, PLTS jenis off-grid dikenal sebagai sistem yang beroperasi secara mandiri tanpa bergantung pada jaringan listrik PLN. Dalam skema ini, dibutuhkan komponen penyimpan daya seperti baterai. Fungsi baterai adalah menyimpan energi listrik yang dihasilkan panel surya pada siang hari, sehingga energi tersebut dapat digunakan pada malam hari dengan mengalirkan daya ke peralatan yang memerlukan.

Terdapat dua tipe rangkaian pada sistem PLTS, yaitu sistem AC (*alternating current*) dan sistem DC (*direct current*). Pada sistem AC, listrik dari panel surya dialirkan ke peralatan melalui inverter dan baterai. Sementara pada sistem DC, aliran listrik dari panel surya dapat langsung menuju komponen tanpa perlu melewati inverter. Kendati demikian,

kedua sistem tersebut tetap membutuhkan perangkat *Solar Charge Controller* (SCC) untuk mengatur distribusi energi dari panel ke baterai. Dalam proses pemasangan, disarankan posisi panel surya memiliki sudut kemiringan sekitar 10° agar mempermudah proses pembersihan permukaan panel secara alami ketika hujan turun.

a. Monocrystalline

Sel surya ini berbentuk kristal yang dibentuk sangat tipis dan diproduksi dari silikon murni. Karena bentuk potongan yang tipis sekali dan dikerjakan dengan teliti, sel surya ini bisa dibilang jenis sel surya yang memiliki efisien sangat tinggi antara 15% - 20.



Gambar 2.2. 5 System

1. Satu bagian kristal silikon murni bebentuk batangan
2. Potongan-potongan kristal silikon
3. Lembaran sel surya jenis e*monocrystalline*
4. Pada panel surya yang sudah jadi ini ada bintik yang kosong karena panel jenis ini potongan sel surya tidak kotak sempurna

Jenis Sel surya *Monocrystalline* ini dikatakan juga dengan sel surya dengan sel tunggal. Sel surya ini juga dengan mudah dicari di pasaran. Sel ini bemiliki ciri warna yang sangat hitam seperti warna kopi dan memiliki bentuk jajr genjang pada pembatas selnya. Dan karena warna yang hitam pekat, sel ini memiliki efisien yang sangat tinggi dalam menyerap energi dari sinar matahari.

Gambar 2.2. 6 Silikon Monocristaline

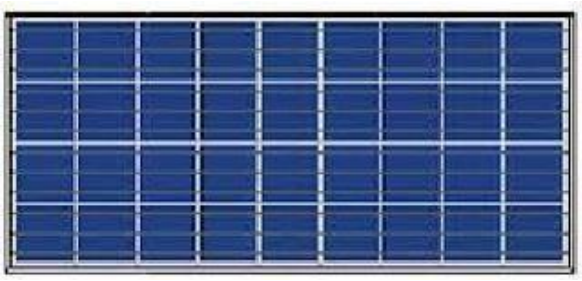
Keunggulan dan kelemahan menggunakan sel surya jenis *monocrystalline* adalah :

1) Kelebihan menggunkan panel surya jenis *monocrystalline*
    a. Efisiensi panel bisa mencapai 15-20%.
    b. Tidak perlu lhan lahan yang luas dibandingkan sel suya lain karena efisiensi yang sanat tinggi.
    c. Panel surya ini relatif lebih awet dibandingkan dengan yang lain karena beberapa penjual menberikan garansi sampai 25 tahun.
    d. Panel surya jenis ini memiliki performa yang bagus dari jenis *polycristalline* pada saat cuaca berawan, menjadikan sel surya jenis ini cocok digunakan pada tempat yang memiliki curah hujan tinggi

2) Kekurangan dalam menggunakan panel *monocrystalline*
    a. Panel *Monocrystalline* memilili harga yang tinggi dipasaran.
    b. Kinerja panel surya ini performanya akan berkurang saat suhu mengalami peningkatan yang signifikan. Tetapi keadaan tersebut lebih baik dibandingkan dengan panel jenis yang lain.
    c. Menghasilkan limbah yang banyak saat proses produksi dibandingkan dengan jenis lain.

b. Polycrystaline

Penel ini bentuknya kota kecil-kecil, atau dikatakan kotak sempurna dibandingkan sel *monocristalline*. Pembuatan sel ini dengan cara melebur sel kristal kemudian dicetak dengan bentuk kotak. Proses produksi panel ini tergolong lebih simpel dibandingkan dengan sel *monocristalline.* Bentuk sel ini memiliki motif seperti potongan kaca.



Gambar 2.2. 7 Silikon Polycrystaline
(Sumber gambar: Teknologi Photovoltaic)

Kelebihan dalam memakai panel jenis *Polycrystalline* adalah:

1) Kelebihan memakai panel *Polycrystalline*
    a. Menghasilakan sedikit limbah silikon saat proses produksi daripada jenis *monocrystalline* jadi harga lebih murah.
    b. Pemakaian sel *polycrystallin*e mempunyai kekurangan pada saat mentoleransi suhu panas dibandingkan memakai jenis *monocrystalline*. Kesimpulannya panel jenis ini performanya dibawah jenis *monocristalline* saat terjadi cuaca extrime. Karena cuaca sangat berpengaruh pada sle surya maka dari itu masa pemakaian panel jenis ini lebih pendek.

2) Kelemahan dalam penggunaan *Polycrystalline*
    a. Hasil efisiensi hanya diangka 13-16%. Dikarenakan kandungan silikon murni lebih sedikit, sel jenis *polycystalline* ini dikatakan tidak lebih bagus dibanding *monocrystalline* dalam hal efisiensi.
    b. Tidak terlalu memerlukan lhan yang luas karena efisiensi luas lebih bagus, panel jenis *monocrystalline* beroperasi lebih efisien dibandingkan dengan sel jenis *polycystalline.*

c. Sel jenis *monocrystalline* memiliki tampilannya lebih bagus karena ada bintik kotak yang sama daripada jenis p*olycystalline* yang hanya berwarna biru saja.

2.2.5 HelioScope

HelioScope adalah perangkat lunak (software) berbasis web yang banyak digunakan untuk perancangan dan simulasi kinerja sistem PLTS. Software ini memungkinkan perancang untuk membuat model 3D dari lokasi instalasi (bangunan atau lahan), menata letak (layout) modul surya secara detail di atas model tersebut, dan mensimulasikan produksi energi tahunan sistem PLTS yang dirancang dengan mempertimbangkan berbagai faktor.

Fitur utama HelioScope yang relevan untuk perancangan PLTS Atap Hibrida meliputi:

1. Pemodelan 3D Lokasi: Memungkinkan pembuatan model atap bangunan secara akurat menggunakan data citra satelit (integrasi dengan Google Maps) atau dengan mengimpor data dari CAD. Ini membantu dalam visualisasi dan penempatan modul yang presisi.
2. Desain Tata Letak (Layout) Otomatis dan Manual: Memfasilitasi penempatan modul surya di atas model 3D, memperhitungkan halangan (seperti cerobong asap, unit AC), setback (jarak aman dari tepi atap), dan orientasi optimal.
3. Analisis Bayangan (Shading Analysis): HelioScope dapat menganalisis dampak bayangan dari objek di sekitar (bangunan lain, pohon, atau bagian atap itu sendiri) terhadap produksi energi modul surya sepanjang tahun.
4. Simulasi Produksi Energi: Menggunakan data meteorologi historis (radiasi matahari, temperatur) dari database NREL atau sumber lain, HelioScope mensimulasikan produksi energi sistem PLTS per jam atau per bulan sepanjang tahun. Simulasi ini memperhitungkan karakteristik komponen (modul PV, inverter), kerugian sistem (system losses seperti kerugian kabel, temperatur, mismatch, kotoran, degradasi), dan efek bayangan.
5. Pemilihan Komponen: Memiliki database komponen (modul PV, inverter) yang luas, memungkinkan pengguna memilih komponen spesifik untuk simulasi.
6. Pelaporan: Menghasilkan laporan detail mengenai desain tata letak, analisis bayangan, dan estimasi produksi energi tahunan, termasuk nilai Performance Ratio (PR).

Dalam konteks topik skripsi Anda, HelioScope menjadi alat penting untuk merancang tata letak PLTS Atap di Pulau Lemukutan secara optimal, memperkirakan potensi produksi energi surya tahunan sebagai masukan untuk analisis sistem hibrida secara keseluruhan, dan memberikan dasar teknis yang kuat untuk evaluasi kelayakan.

Gambar 2.2. 8 PLTS Atap (Rooftop Solar PV)
(Sumber : Freepik)

2.2.6 Konsep Daya dan Energi Listrik

- Daya Listrik (P): Menunjukkan laju energi listrik yang dikonsumsi atau dihasilkan per satuan waktu. Satuannya adalah Watt (W) atau kilowatt (kW). Dalam konteks PLTS, dikenal juga istilah Watt-peak (Wp) atau kilowatt-peak (kWp), yaitu daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh modul surya pada kondisi uji standar (Standard Test Condition - STC: iradiasi 1000 W/m², temperatur sel 25°C, massa udara AM 1.5).
- Energi Listrik (E): Merupakan jumlah daya listrik yang digunakan atau dihasilkan selama periode waktu tertentu. Satuannya adalah Watt-hour (Wh) atau kilowatt-hour (kWh). 1 kWh adalah energi yang setara dengan penggunaan daya 1 kW selama 1 jam. Energi inilah yang biasanya diukur dan ditagih oleh penyedia listrik (misalnya PLN). Hubungan antara energi, daya, dan waktu adalah:

$$E = P\ x\ t \qquad (2.1)$$

dimana:

- E = Energi (kWh)
- P = Daya (kW)
- t = Waktu (jam)

- Tegangan Listrik (V): Perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian. Satuannya Volt (V).
- Arus Listrik (I): Laju aliran muatan listrik dalam rangkaian. Satuannya Ampere (A).
- Hubungan Daya, Tegangan, dan Arus:
    1. Untuk arus searah (DC): $P = V\ x\ I$
    2. Untuk arus bolak-balik (AC) satu fasa: $P = V\ x\ I\ x \cos\varphi$. Dimana $\cos\varphi$ adalah faktor daya (power factor).
    - Performa Ratio (PR): Ukuran kualitas kinerja sistem PLTS secara keseluruhan.

PR membandingkan energi aktual yang dihasilkan sistem (Eactual) dengan energi teoritis yang seharusnya dihasilkan (Etheoretical) jika sistem bekerja pada efesiensi nominal di bawah kondisi STC, dengan memperhitungkan total radiasi matahari yang diterima bidang panel (Gtilt) dan kapasitas terasang sistem (P peak). PR memperhitungkan semua kerugian sistem nyata. PR Eactual: Etheoretical = Eactual: (G_{tilt}/G_{STC}) x Ppeak. Dimana: Eactual = Energi AC aktual yang dihasilkan (kwh) Ppeak = Kapasitas DC puncak sistem (kWp) Gtilt + Total radiasi matahari pada bidang panel (kWh/m2) G_{STC} = Radiasi matahari pada kondisi $_{STC}$ (1 kW/m^2).