BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penulisan yang Relevan

Penelitian terdahulu memiliki peran penting dalam membangun landasan konseptual dan memperkuat arah penelitian yang dilakukan. Melalui kajian terhadap berbagai penelitian yang relevan, peneliti dapat mengetahui perkembangan ilmu pengetahuan, pendekatan metodologi yang telah digunakan, serta mengidentifikasi temuan-temuan yang berkaitan dengan topik penelitian. Pada penelitian mengenai pengoperasian PLTS dalam melayani kebutuhan listrik SPKLU, studi literatur menjadi tahapan yang penting untuk memperoleh gambaran mengenai perkembangan integrasi energi terbarukan dengan infrastruktur kendaraan listrik.

Berdasarkan hasil telaah terhadap jurnal, regulasi, dan penelitian pendukung lainnya, diketahui bahwa kajian terkait PLTS dan SPKLU telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Diantaranya beberapa penelitian berfokus pada perancangan kapasitas sistem PLTS, pengembangan sistem *smart charging*, hingga integrasi energi terbarukan dengan kendaraan listrik. Selain itu, berbagai pendekatan analisis menggunakan aplikasi atau perangkat lunak juga banyak digunakan untuk mengevaluasi performa sistem PLTS yang akan bangun. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih dilakukan pada skala tertentu dan lebih banyak meninjau aspek teknik maupun finansial secara terpisah.

Hasil kajian tersebut menunjukkan bahwa masih terdapat ruang pengembangan untuk diteliti, terutama pada kajian yang menghubungkan aspek teknik, operasional, dan finansial secara terintegrasi dalam sistem PLTS dalam memenuhi kebutuhan energi SPKLU. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan pendekatan yang lebih menyeluruh melalui analisis kebutuhan energi SPKLU, aspek teknik dan finansial dalam mendukung investasi untuk pengembangan PLTS dalam memenuhi kebutuhan energi SPKLU. Untuk memperjelas posisi penelitian, ringkasan penelitian yang relevan disajikan dalam bentuk Tabel, diantaranya adalah sebagai berikut.

Tabel 2.1 *State of the Art*

No	Judul Penelitian	Penulis	Tahun	Objek Penelitian	Lokasi	Metode Analisis Data	Metode Penelitian	Kebaruan (Novelty)
1	Multicriteria Design and Experimental Verification of Hybrid Renewable Energy Systems: Application to Electric Vehicle Charging Stations	Paula Bastida-Molina, Elías Hurtado-Pérez, María Cristina Moros Gómez1, Carlos Vargas-Salgado	2021	Hybrid Renewable Energy System untuk EV Charging Station	Spanyol	Multi-criteria analysis, experimental verification	Eksperimental dan optimasi multi-kriteria	Integrasi PV–wind–storage dengan pendekatan teknis, ekonomi, dan lingkungan untuk EV charging
2	Grid-Integrated Solutions for Sustainable EV Charging: A Comparative Study of Renewable	Anis ur Rehman, Haris M. Khalid, S. M. Muyeen.	2024	Integrasi energi terbarukan pada EV charging	Global	Comparative analysis, techno-economic assessment	Studi komparatif	Membandingkan berbagai skema integrasi PV-grid dan smart charging untuk sistem EV
3	Economic Feasibility of Solar-Powered Electric Vehicle Charging Stations: A Case Study in Ngawi, Indonesia	Singgih Dwi Prasetyo1, Farrel Julio Regannanta1 , Mochamad Subchan Mauludin2 , Zainal Arifin	2024	SPKLU berbasis PLTS	Ngawi, Indonesia	Analisis ekonomi, NPC, COE	Simulasi ekonomi	Evaluasi kelayakan ekonomi SPKLU berbasis PLTS di Indonesia
4	Analysis Development of Public Electric Vehicle Charging Stations Using On-Grid Solar Power Plants in Indonesia	R.A. Rachmanto dkk.	2023	SPKLU dengan PLTS On-Grid	Surakarta, Semarang, Yogyakarta, Surabaya, Malang	HOMER, NPC, COE, BEP	Simulasi	Identifikasi lokasi paling optimal berdasarkan performa teknis dan ekonomi PLTS-SPKLU

5	Analisis Kebutuhan Daya dan Komponen Untuk Stasiun Pengisian Baterai Kendaraan Listrik Dengan Sumber Energi PLTS di Politeknik Negeri Samarinda	Sayudi, Prihadi Murdiyat, La Bima	2022	SPKLU berbasis PLTS	Samarinda	Perhitungan kebutuhan daya dan sizing komponen	Observasi, studi pustaka, perhitungan	Fokus pada perancangan komponen PLTS dan kebutuhan beban SPKLU
6	Optimalisasi Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH) On-Grid di SPKLU Berbasis Aplikasi HOMER	Syarif Hidayat, Fadliondi	2024	PLTH On-grid pada SPKLU	Indonesia	HOMER, NPC, COE, PBP	Simulasi optimasi	Menunjukkan konfigurasi winning system dengan COE lebih rendah dan emisi lebih kecil
7	Perancangan PLTS Atap di Gedung Kantor Bupati Jembrana	Ahmad Yusuf Firmansyah dkk.	2023	PLTS Atap	Jembrana	Helioscope	Simulasi desain	Optimasi area atap dan produksi energi tahunan PLTS rooftop
8	Analisa Tekno-Ekonomi Pengujian Tegangan Tinggi pada PLN Unit Pelayanan Transmisi Cawang	Muhammad Ihsan, Aminullah Assagaf	2026	HV Test SKTT	PLN UPT Cawang	ETAP dan cost comparison	Simulasi tekno-ekonomi	Efisiensi biaya 92,63% melalui metode reverse transformator
9	The Intention of Investors in Making Investment Decisions in Sharia Stocks: Empirical Study in Indonesian	Dihin Septyanto, Nur Sayidah, Aminullah Assagaf	2021	Perilaku investasi	Indonesia	Regresi linier berganda	Kuantitatif	Menjelaskan pengaruh profit maximization terhadap keputusan investasi
10	Financial Management: Theory and Practice	Eugene F. Brigham, Michael C. Ehrhardt	2008	Manajemen keuangan proyek	—	NPV, IRR, cash flow analysis	Teori dan aplikasi	Dasar analisis kelayakan investasi dan capital budgeting
11	Permen ESDM No.2 Tahun 2024 tentang PLTS Atap	Kementerian ESDM	2024	Regulasi PLTS Atap	Indonesia	Analisis regulasi	Kebijakan	Penghapusan ekspor-impor energi dan fokus self-consumption

12	Renewable Energy Integration with Electric Vehicle Technology: A Review of the Existing Smart Charging Approaches	Pranjal Barman, Lachit Dutta, Sushanta Bordoloi, dkk	2023	Integrasi energi terbarukan dan EV melalui smart charging	Global	Literature review, analisis infrastruktur, smart charging, V2G, grid integration	Systematic review	Meninjau berbagai pendekatan smart charging berbasis energi terbarukan seperti network charging, managed charging, V2G, serta tantangan integrasi EV–grid. Belum membahas pengoperasian PLTS pada SPKLU secara spesifik.
13	Integration of Renewable Energy and Electric Vehicles in Power Systems: A Review	Nikolaos M. Manousakis, Panagiotis S. Karagiannopoulos, George J. Tsekouras, Fotios D. Kanellos	2023	Integrasi EV dan energi terbarukan pada sistem tenaga	Global	Bibliographic analysis, optimization algorithm review	Literature review	Menyusun klasifikasi integrasi EV–RES, metode optimasi, strategi manajemen energi dan dampak finansial. Fokus masih pada kajian umum dan belum spesifik pada operasi PLTS–SPKLU wilayah tertentu.
14	Analisis Performansi dan Ekonomi PLTS Atap 10 kWp pada Bangunan Rumah Tangga di Desa Batuan Gianyar	I.P.G. Riawan, I.N.S. Kumara, W.G. Ariastina	2022	PLTS Atap 10 kWp dan kelayakan investasi	Desa Batuan, Gianyar, Bali	PVsyst, NPV, IRR, BCR, PI, PP	Simulasi dan evaluasi ekonomi	Menggabungkan analisis performa PLTS dengan kelayakan finansial menggunakan PVsyst. Menunjukkan bahwa PLTS belum tentu layak secara ekonomi meskipun teknis beroperasi baik.
15	Design and Assessment of an Electric Vehicle Charging Station Using Hybrid Renewable Energy	Ritesh Singh, Abhishek Gupta, Devesh Singh, Akshoy Ranjan Paul	2022	EV Charging Station berbasis hybrid PV–Biogas	India	HOMER Pro, NPC, LCOE, O&M Cost, emisi CO_2	Simulasi teknis–ekonomi	Merancang SPKLU hybrid menggunakan PV dan biogas dengan pendekatan teknis, ekonomi, dan lingkungan. Fokus pada sistem hybrid, belum menganalisis PLTS on-grid dengan karakteristik beban SPKLU PLN.
16	Analysis of Fast Charging System Development for Electric Vehicle Implementation in Indonesia	Andre Amba Matarru, M. Sidik Boedoyo, Purnomo Yusgiantoro	2020	Pengembangan Fast Charging System dan SPKLU	Indonesia	Analisis kebutuhan daya, kebijakan, observasi	Kualitatif, wawancara, observasi	Membahas standarisasi SPKLU, kebutuhan daya 1,375 kW/titik, manajemen infrastruktur dan persebaran SPKLU. Tidak mengkaji integrasi PLTS maupun analisis operasi energi surya.

17	Optimal Site Selection of Electric Vehicle Charging Stations Based on a Cloud Model and the PROMETHEE Method	Yunna Wu et al.	2016	Pemilihan lokasi optimal SPKLU	China	Cloud Model, ANP, PROMETHEE	Multi-Criteria Decision Making (MCDM)	Mengembangkan metode pemilihan lokasi SPKLU dengan mempertimbangkan ketidakpastian data, korelasi antar kriteria, dan metode ranking PROMETHEE sehingga menghasilkan pemilihan lokasi yang lebih rasional dibanding metode konvensional. Fokus penelitian masih pada lokasi SPKLU dan belum mengkaji suplai energi PLTS.
18	Operating Modes of Grid Integrated PV-Solar Based Electric Vehicle Charging System: A Comprehensive Review	Alok Jain, Suman Bhullar	2024	Sistem pengisian EV berbasis PV-grid	Global	Review komprehensif arsitektur dan mode operasi	Literature Review	Menjelaskan mode operasi PLTS-grid, PV standalone, V2G, jenis charger dan integrasi konverter daya pada SPKLU. Penelitian menitikberatkan arsitektur sistem dan belum mengevaluasi performa operasional PLTS pada kebutuhan beban SPKLU riil.
19	Analisa Studi Kelayakan Pembangunan PLTS 10 kWp di Graha YPK PLN	Pawenary, Putri Khairunnisyah, Arditiyan Elyas Pradana	2022	Studi kelayakan PLTS on-grid 10 kWp	Jakarta	Analisis teknis dan ekonomi investasi	Simulasi dan studi kelayakan	Mengkaji kelayakan PLTS on-grid 10 kWp pada bangunan dengan evaluasi biaya investasi, energi impor-ekspor dan payback period. Fokus masih pada bangunan umum dan belum dikaitkan dengan karakteristik beban SPKLU.
20	Investigation of Cost-Effective Electric Vehicle Charging Station Assisted by Photovoltaic Solar Energy System	Abdullah Dik, Siddig Omer, Rabah Boukhanouf	2023	SPKLU berbantuan energi surya PV	University of Nottingham, UK	PVGIS, stochastic approach, analisis teknis-ekonomi	Simulasi dan pemodelan	Mengembangkan enam skenario kombinasi charger 3 kW dan 7 kW berbasis PV serta mengevaluasi aspek teknis, ekonomi, dan lingkungan SPKLU. Fokus masih pada skenario kapasitas charger dan belum menganalisis operasi PLTS on-grid dalam jaringan PLN.
21	A Comprehensive Review on Solar Powered Electric Vehicle Charging System	Saadullah Khan et al.	2017	Sistem pengisian EV berbasis tenaga surya	Global	Review teknologi dan analisis sistem	Literature Review	Menyajikan tinjauan komprehensif sistem PV-EV, standar charging, model bisnis, kontrol dan keamanan sistem SPKLU tenaga surya. Fokus masih bersifat konseptual dan belum mengevaluasi performa operasional sistem secara spesifik.

22	Analisis Kelayakan Investasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap dengan Sistem Off-Grid pada Indekos di Kota Surabaya	Maulana Sechan, Dava Valubia Ramadhan, Wisudanto Mas Soeroto	2024	Analisis kelayakan investasi PLTS atap off-grid	Surabaya, Indonesia	DPP, NPV, IRR, PI, simulasi PVsyst	Studi literatur dan simulasi	Mengintegrasikan simulasi PVsyst dengan analisis kelayakan investasi menggunakan DPP, IRR, NPV dan PI untuk PLTS atap skala kecil. Fokus penelitian masih pada bangunan indekos dan belum menganalisis karakteristik beban SPKLU.
23	Renewable Energy Tracking and Optimization in a Hybrid Electric Vehicle Charging Station	Andrija Petrusic, Aleksandar Janjic	2021	Hybrid EV charging station berbasis PV dan battery storage	Serbia	Multi-Attribute Utility Theory, Genetic Algorithm	Optimasi multi-kriteria	Mengembangkan optimasi pengisian EV dengan mempertimbangkan biaya charging, energi terbarukan, degradasi baterai, serta penelusuran sumber energi terbarukan pada battery storage. Fokus utama pada optimasi charging station, bukan evaluasi operasional PLTS pada SPKLU aktual.
24	Novel Standalone Plug-in Hybrid Electric Vehicle Charging Station Fed by Solar Energy in Presence of a Fuel Cell System Used as Supporting Power Source	Fulin He, Hassan Fathabadi	2020	SPKLU standalone berbasis PV dan fuel cell	China	MPPT adaptif, eksperimen sistem	Eksperimental dan simulasi	Menggantikan battery bank dengan fuel cell system sebagai sumber daya pendukung sehingga meningkatkan umur sistem dan menurunkan biaya jangka panjang. Fokus penelitian masih pada standalone system dan belum mempertimbangkan integrasi jaringan PLN.
25	Analisis Kinerja Sistem Photovoltaic Management Platform pada Implementasi Sistem PLTS Hybrid Berbasis Internet of Things	Kurniawan Aprilianto, Unan Yusmaniar	2024	Platform manajemen PLTS hybrid berbasis IoT	Cikampek, Indonesia	QoS, Nielsen Attributes of Usability	Analisis performa sistem	Mengkaji kualitas monitoring dan manajemen PLTS hybrid berbasis IoT menggunakan pengukuran kualitas jaringan serta usability platform manajemen PLTS. Fokus masih pada monitoring sistem dan belum menganalisis energi SPKLU.
26	Penguatan Ekonomi Berkelanjutan Melalui Penerapan Kendaraan Berbasis Listrik	Ira Fitriana, Agus Sugiyono, Adiarso, Edi Hilmawan (Editor)	2020	Kebijakan energi, kebutuhan SPKLU dan kendaraan listrik	Indonesia	LEAP, analisis kebijakan energi	Pemodelan energi nasional	Menyusun proyeksi kebutuhan energi kendaraan listrik, penyediaan energi nasional, kebutuhan SPKLU, serta pengembangan pembangkit hingga tahun 2050. Kajian masih pada skala makro nasional dan belum mengevaluasi operasional PLTS-SPKLU secara spesifik daerah.

27	Analisis Tekno Ekonomi Implementasi Sistem PLTS Atap Pada Gedung Kantor Walikota Denpasar	I Wayan Swi Putra, I Nyoman Satya Kumara, Rukmi Sari Hartati	2022	PLTS atap Gedung Kantor Walikota Denpasar kapasitas 112,5 kWp	Indonesia	PVsyst, NPV, IRR, BCR, PI, PP	Simulasi teknis dan analisis ekonomi	Mengintegrasikan simulasi performa PLTS dengan analisis kelayakan investasi untuk gedung pemerintahan. Menunjukkan penghematan energi PLN hingga 72,12% dan payback 3,4 tahun. Namun masih fokus pada bangunan pemerintahan dan belum mengkaji profil beban dinamis SPKLU.
28	Analisis Kinerja Sistem Photovoltaic Management Platform pada Implementasi Sistem PLTS Hybrid Berbasis IoT Area R&D Syngenta Cikampek	Kurniawan Aprilianto, Unan Yusmaniar	2024	Platform monitoring PLTS hybrid berbasis IoT	Indonesia	QoS, Nielsen Attributes of Usability (NAU)	Analisis performa sistem dan usability	Menggabungkan analisis QoS jaringan dengan evaluasi usability platform monitoring PLTS. Pendekatan ini memperluas evaluasi PLTS bukan hanya energi tetapi aspek digital monitoring. Fokus belum pada operasi energi SPKLU.
29	Analisis Pengaruh Return on Investment (ROI) terhadap Kinerja Keuangan Suatu Perusahaan	Rafi Astonugroho, Tina Rosa	2023	Hubungan ROI dan kinerja finansial	Indonesia	Analisis deskriptif sintesis jurnal	Studi literatur	Menunjukkan ROI sebagai indikator penting evaluasi investasi. Tidak spesifik PLTS, namun konsep ROI dapat diadopsi dalam evaluasi ekonomi sistem energi dan investasi SPKLU.
30	Evaluasi Kinerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid Pada Gedung Centre of Excellence Universitas Pendidikan Indonesia	Agung Febriana H., Elih Mulyana, Bambang Trisno	2024	PLTS Hybrid 5,35 kWp + PLTB 2 kW	Indonesia	Pengukuran lapangan, analisis performa, produksi daya dan efisiensi	Observasi lapangan dan evaluasi kinerja	Mengembangkan evaluasi nyata PLTS Hybrid menggunakan parameter performa, produksi energi, efisiensi, dan pengaruh terhadap beban aktual. Menggunakan pengukuran real-time dibanding simulasi murni. Namun skala beban masih gedung kampus, bukan SPKLU.
31	Buku Panduan Perencanaan, Pembangunan, Operasional dan Pemeliharaan PLTS Atap	Yayasan Mitra Hijau	2021	Pedoman desain dan operasional PLTS Atap	Indonesia	Perhitungan teknis, ekonomi dan regulasi	Panduan teknis	Memberikan prosedur komprehensif mulai perencanaan, desain, proteksi, ekonomi hingga pemeliharaan PLTS. Berkontribusi sebagai acuan implementasi teknis namun tidak menyajikan evaluasi performa aktual sistem.

32	Potensi Pemanfaatan Atap Gedung Pusat Pemerintahan Kabupaten Badung untuk PLTS Rooftop	I Dewa Gde Yaya Putra Pratama, I Nyoman Satya Kumara, I Nyoman Setiawan	2018	Potensi pemasangan PLTS rooftop pada 18 gedung pemerintahan	Pusat Pemerintahan Kabupaten Badung, Bali	Simulasi produksi energi menggunakan System Advisor Model (SAM), perhitungan luas atap, estimasi produksi energi	Observasi lapangan dan simulasi	Mengkaji potensi atap gedung pemerintah secara menyeluruh menggunakan Google Earth, AutoCAD, dan SAM sehingga mampu menghasilkan estimasi energi 6.169.092 kWh/tahun atau 124,72% kebutuhan energi gedung. Belum mengkaji karakteristik beban SPKLU maupun operasi PLTS aktual.
33	Analisis Kelayakan PLTS Atap Menggunakan Metode Real Option dengan Pemanfaatan Insentif Pendanaan: Studi Kasus SMA Future Gate	M. Zubair Abdurrohman, Hakimul Batih	2023	Kelayakan investasi PLTS atap dengan skema insentif pendanaan	SMA Future Gate, Jakarta	NPV dan Real Option Analysis	Studi kasus dan analisis ekonomi	Mengombinasikan NPV dengan Real Option Analysis sehingga fleksibilitas kebijakan insentif dapat diperhitungkan dalam investasi PLTS. Pendekatan ini melampaui analisis ekonomi konvensional yang hanya memakai NPV.
34	Grid-connected Photovoltaic-based Microgrid as Charging Infrastructure for Meeting Electric Vehicle Load	Appalanaidu Chowdary, Sura Srinivasa Rao	2022	Infrastruktur pengisian kendaraan listrik berbasis PV-grid microgrid	India	Pemodelan microgrid, analisis supply-demand mismatch, sensitivitas beban EV	Simulasi dan pemodelan	Penelitian secara spesifik menghubungkan PLTS-grid dengan beban kendaraan listrik. Menawarkan sistem charging EV berbasis PV-grid untuk menjaga keandalan operasi ketika terjadi fluktuasi energi surya. Sangat dekat dengan penelitian SPKLU.
35	Berita Resmi Statistik: Perkembangan Indeks Harga Konsumen Januari 2025	Badan Pusat Statistik	2025	Data inflasi nasional dan indeks harga konsumen	Indonesia	Analisis statistik IHK dan inflasi	Statistik deskriptif	Menyajikan data inflasi aktual yang dapat digunakan sebagai variabel ekonomi makro dalam analisis finansial investasi energi seperti proyeksi biaya OPEX dan eskalasi harga. Tidak spesifik membahas PLTS.

36	Energy Management Device EMB-2 Installation Guide	Solarman	2025	Perangkat monitoring dan manajemen energi PLTS	Implementasi global	Konfigurasi perangkat, monitoring data PV dan komunikasi inverter	Manual implementasi perangkat	Menjelaskan integrasi monitoring PLTS real-time menggunakan perangkat EMB-2 dengan komunikasi RS485, cloud monitoring, dan manajemen data PV. Menjadi pendukung implementasi IoT dan monitoring PLTS operasional.
37	Peta Jalan Pengembangan PLTS Atap Menuju Bali Mandiri Energi	I.N.S Kumara, I.A.D Giriantari, W.G Aristhia, N. Setiawan, dkk	2019	Pengembangan roadmap dan potensi implementasi PLTS atap	Bali, Indonesia	Analisis potensi PLTS, kapasitas jaringan, kebijakan, dan proyeksi energi	Studi kebijakan, observasi, pemetaan potensi dan analisis sistem	Menyusun peta jalan komprehensif pengembangan PLTS atap berbasis aspek teknis, regulasi, jaringan, dan potensi wilayah. Fokusnya bukan pada performa operasional PLTS atau integrasi beban dinamis seperti SPKLU.
38	Investment Analysis Which Relevance Measurement for Government Company (BUMN): Case of Coal Power Generation	Aminullah Assagaf		Analisis investasi pembangkit listrik dan perusahaan BUMN	Indonesia	NPV, IRR, MIRR, cash flow dan equity-based analysis	Analisis finansial dan studi kasus	Mengusulkan penggunaan MIRR berbasis equity dibanding IRR konvensional agar analisis investasi lebih realistis. Pendekatan ini dapat diterapkan pada studi kelayakan investasi PLTS maupun SPKLU.
39	Laporan Status Energi Bersih Indonesia: Potensi, Kapasitas Terpasang, dan Rencana Pembangunan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan 2019	Agus Praditya Tampubolon, Julius Christian Adiatma	2019	Potensi dan kapasitas energi terbarukan nasional	Indonesia	Analisis statistik kapasitas terpasang, RUPTL, dan RUED	Studi deskriptif berbasis data sekunder nasional	Menunjukkan ketimpangan antara potensi PLTS nasional (>200 GW) dengan pemanfaatannya yang masih sangat rendah, serta mengidentifikasi Kalimantan Barat sebagai salah satu wilayah dengan potensi terbesar. Menjadi dasar strategis penelitian PLTS di Kalbar.
40	Pengaruh Suhu dan Durasi Penyinaran Panel Surya terhadap Efisiensi Energi Panel Surya: Studi Kasus PLTS Institut Teknologi PLN	Zahriya Okta Priani, Hakimul Batih, Syamsir Abduh	2025	Pengaruh suhu dan durasi penyinaran terhadap efisiensi panel surya	PLTS Institut Teknologi PLN, Jakarta	Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) menggunakan SmartPLS 4.0	Studi kasus, observasi lapangan, wawancara, dan analisis statistik	Kebaruan penelitian terletak pada analisis simultan suhu dan durasi penyinaran menggunakan PLS-SEM pada iklim tropis. Menunjukkan suhu menjadi faktor dominan penurunan efisiensi PLTS.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU)

Kendaraan listrik berbasis baterai *(Battery Electric Vehicles* atau BEV) dan kendaraan listrik berbasis sel bahan bakar (*Fuel Cell Electric Vehicles* atau FCEV) adalah bagian dari teknologi rendah karbon yang semakin populer. Pemerintah Indonesia telah mengadopsi standar dari IEC *(International Electrotechnical Commission)* terkait pengisian kendaraan listrik menjadi Standar Nasional Indonesia (SNI) (Fitriana et al., 2020).

Kendaraan listrik bukanlah konsep baru, dan peneliti sebelumnya telah menyelidiki sejak abad ke-19. EV telah banyak dipelajari oleh sejumlah besar para ahli, bahkan belakangan ini telah muncul klasifikasi baru yaitu kendaraan listrik dengan sel bahan bakar yang tergabung dimana sel bahan bakar EV mampu menghasilkan tenaga listriknya sendiri dan menjadi sumber listrik untuk elektronik yang lain (Manousakis et al., 2023).

Penerapan kendaraan listrik dan pengembangan infrastruktur Statsiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum di Indonesia merupakan langkah penting dalam mencapai ekonomi berkelanjutan. Ini mencakup pengembangan stasiun pengisian di berbagai lokasi strategis dan adopsi standar internasional untuk memastikan keandalan dan efisiensi. Menurut (Fitriana et al., 2020) SPKLU merupakan fasilitas yang menyediakan pengisian daya untuk kendaraan listrik. Selanjutnya SPKLU dibagi menjadi tiga kategori dasar:

1. Stasiun Pengisian Rumahan (*Residensial*) yaitu Peralatan pengisian dipasang di rumah pelanggan, biasanya menggunakan pengisian dengan durasi yang lambat.
2. Stasiun Pengisian Komersial dimana Peralatan pengisian dipasang di tempat parkir umum seperti Parkir Perkantoran, Parkir mal, dan tempat industri.

3. Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum yang ditempatkan di lokasi umum seperti halnya SPBU dengan berbagai fasilitas pendukung lainnya.



Gambar 2. 1 Salah satu SPKLU di Kalimantan Barat



Gambar 2. 2 Fitur colokan ganda SPKLU type CCS untuk pengisian AC dan DC

sumber: (Mataru et al., 2020)

Sebagai fasilitas pengisian ulang (*charging*), SPKLU mencakup berbagai elemen penting diantaranya adalah peralatan penyediaan tenaga listrik, sistem kendali arus, tegangan, dan komunikasi, serta sistem proteksi dan keamanan sebagaimana tercantum dalam Pasal 22 Perpres Nomor 55 Tahun 2019. Kapasitas listrik yang ditawarkan SPKLU berkisar antara 7 kW hingga 150 kW. PT. PLN (Persero) bertanggung jawab menyediakan pasokan listrik untuk SPKLU. Sejak tahun 2016, PLN tengah gencar mempersiapkan

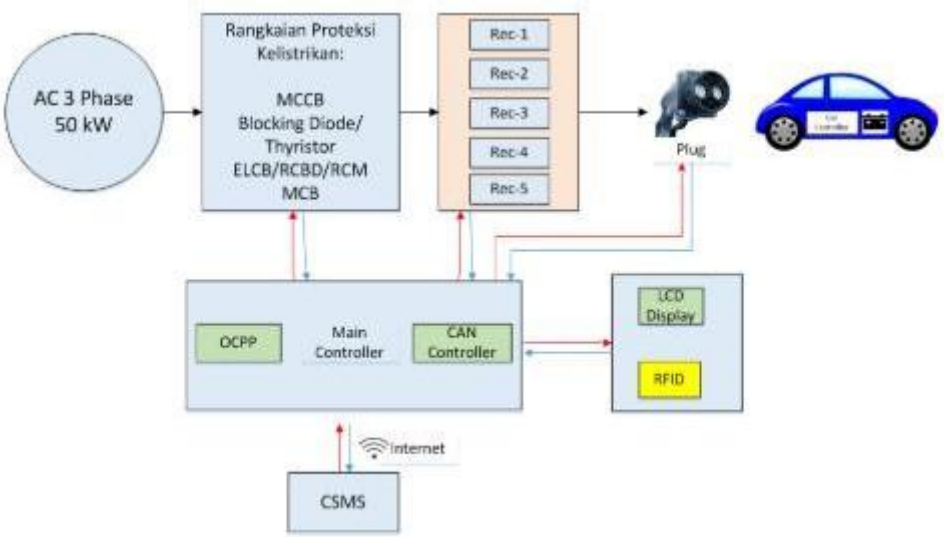
pembentukan SPKLU untuk memenuhi kebutuhan pengisian kendaraan listrik dan kendaraan *hybrid*. (Rosadi, 2022).

Komponen-komponen yang ada dalam SPKLU diantaranya terdiri dari AC-DC *converter* (khusus untuk stasiun DC *charging*), *Plug in,* Main *controller, Display, Temperature control*, *fan, pilot lamp, push button,* Data *communication module, Billing & monitoring system, Protection system, Enclosure, dan Integration.*

Integrasi SPKLU mencakup komponen yaitu perangkat keras dan perangkat lunak. Pada tahun 2020, BPPT berinisiatif mengembangkan stasiun pengisian cepat kendaraan listrik roda 2 serta roda 4. Pengembangan ini fokus pada optimasi pemanfaatan komponen lokal dengan tetap memperhatikan standar internasional dan nasional, seperti SAE J1772 untuk tingkat pengisian kendaraan listrik dan SNI 0225:2011 peralatan sistem pengisian listrik. Selanjutnya menjadi prioritas utama dalam pembangunan stasiun pengisian cepat ini, yang mencakup detektor gangguan tanah dan konfigurasi yang tepat untuk konektor dan pin komunikasi dan menjadi aspek dalam keselamatan. Tujuan utamanya adalah menghasilkan *Prototipe Fast Charging Station* 50 kW yang mampu melayani KBL roda 4 dan roda 2, sekaligus mencapai TKDN hingga 20%. (Rosadi, 2022). Sedangkan Jenis teknologi pengisian ulang untuk kendaraan listrik yang digunakan pada SPKLU, antara lain pengisian normal (*normal charging*), pengisian cepat (*fast charging*), dan pengisian ultra cepat (*ultrafast charging*). Pengisian kendaraan listrik pada SPKLU harus memiliki arus, tegangan, dan komunikasi sehingga aman, terkontrol, jelas energi listrik yang diisi. (Fitriana et al., 2020).

Prototipe Charging Station tipe AC menjalani penilaian TRL yang mengevaluasi kinerjanya dimana *Prototipe* ini dikembangkan menggunakan proses integrasi modular, menggabungkan berbagai komponen dan suku cadang berikut spesifikasi *prototipe Charging Station*. Juga dilengkapi komunikasi OCPP, yang mana sistem ini terdiri dari tiga fasa dengan kapasitas 22 kW dan arus 32 Ampere. Desain CS mengikuti integrasi sistem saat ini sesuai dengan standar IEC 61851-1, khususnya menggunakan mode 3. CS dan KBL dihubungkan bersama oleh catu daya AC kontinyu, difasilitasi oleh kabel dan konektor. Pengaturan ini juga mencakup fungsi kendali pilot dan sistem proteksi yang terdiri dari sistem kendali mengawasi pengaturan berbagai tindakan proteksi, termasuk penggunaan perangkat arus sisa untuk melindungi terhadap kebocoran arus, sensor arus untuk mendeteksi kebocoran, dan mekanisme proteksi arus lebih dan tegangan lebih.

Selain itu, untuk meningkatkan sistem proteksi secara keseluruhan digunakan relai proteksi. CS bertanggung jawab atas pengoperasian semua perangkat yang aman dan andal serta menangani komunikasi dan kontrol, serta memastikan transfer daya. CS dilengkapi dengan *user interface* melalui RFID dan HMI untuk komunikasi pengguna dan CS. Selain itu, komunikasi CS dengan CSMS melalui modul OCPP sehingga CS bisa dimonitor dan dikontrol dari sistem pusat atau sistem hibrida energi (Rosadi, 2022).



Gambar 2.3 *Block* Diagram SPKLU

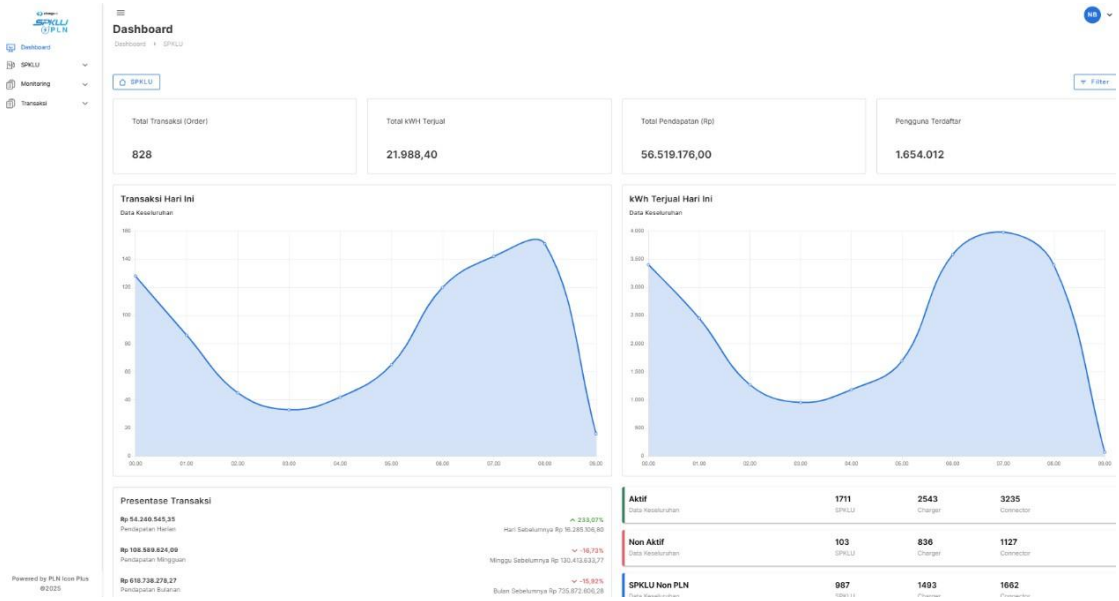
Sumber : (Rosadi, 2022)

Di dalam jurnalnya (Petrusic & Janjic, 2021) menyoroti pentingnya pengembangan infrastruktur pengisian kendaraan listrik (EV) menggunakan sumber energi terbarukan, khususnya PLTS. Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik yang terintegrasi dengan panel surya dapat mengurangi ketergantungan pada jaringan listrik PLN, mengurangi emisi karbon, dan memanfaatkan energi surya secara efisien. Studi kasus menunjukkan bahwa integrasi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi energi tetapi juga memberikan solusi yang lebih ramah lingkungan untuk pengisian kendaraan listrik baik roda dua maupun roda empat.

Untuk melakukan monitoring serta pengawasan SPKLU, PT PLN (Persero) sudah menyediakan aplikasi berbasis *web* yang dapat di akses oleh petugas yang telah di daftarkan. Web monitoring SPKLU tersebut adalah sistem yang dirancang untuk

memantau dan mengelola Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) (*g20.pln.co.id/dashboard/spklu)*. Diantara fitur web tersebut adalah sebagai berikut:

- Pemantauan *Real-time* yang berfungsi untuk memantau status operasional SPKLU, seperti ketersediaan, penggunaan, dan gangguan.
- Laporan dan Analisis yang berfungsi untuk memonitor laporan tentang penggunaan SPKLU, waktu penggunaan, dan konsumsi energi.
- Notifikasi dan peringatan untuk mengirimkan notifikasi terkait gangguan atau masalah yang memerlukan perhatian dari petugas.
- Manajemen Pengguna untuk mengelola akses dan hak pengguna aplikasi, seperti halnya admin dan operator SPKLU.
- Integrasi dengan sistem lain seperti halnya integrasi dengan sistem pembayaran dan sistem manajemen energi.



Gambar 2.4 Tampilan Dashboard Monitoring SPKLU

Sumber: *g20.pln.co.id/dashboard/spklu*

2.2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya merupakan sistem pembangkit listrik yang energinya bersumber dari radiasi matahari melalui konversi sel *fotovoltaik*. Semakin besar nilai intensitas radiasi (iradiasi) matahari yang mengenai sel *fotovoltaik*, maka akan

semakin besar pula produksi daya listrik yang dihasilkan (H & Mulyana, 2024). Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa performa PLTS tidak hanya dipengaruhi intensitas radiasi matahari, namun juga dipengaruhi kondisi lingkungan seperti suhu dan durasi penyinaran panel surya. Penelitian yang telah dilakukan pada PLTS Institut Teknologi PLN menunjukkan bahwa kenaikan suhu panel memiliki pengaruh negatif signifikan terhadap efisiensi panel surya, sedangkan durasi penyinaran memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan produksi energi (Priani et al., 2025). Temuan tersebut penting dalam pembahasan penelitian SPKLU di Kalimantan Barat karena karakteristik iklim tropis berpotensi memengaruhi performa operasional PLTS selama melayani kebutuhan pengisian kendaraan listrik.

Panel surya yang juga dikenal dengan istilah PV *module* atau modul surya dimana merupakan kolektor atau penyerap sinar matahari yang terdiri dari rangkaian sel surya (*solar cells*). Sel surya adalah semikonduktor yang berfungsi mengubah energi cahaya ke energi listrik melalui proses fotoelektrik (Hijau, 2021). Berdasarkan hasil penelitian mengenai potensi implementasi PLTS *rooftop* pada gedung pemerintahan, pemanfaatan energi surya terbukti mampu memberikan kontribusi signifikan terhadap pemenuhan kebutuhan energi listrik beban operasional. Penelitian pada Gedung Puspem Badung menunjukkan bahwa total energi listrik yang dapat dihasilkan PLTS *rooftop* mencapai 6.169.092 kWh/tahun atau setara dengan 124,72% dari total kebutuhan energi listrik gedung, sehingga sistem PLTS mampu memenuhi seluruh kebutuhan energi sekaligus menghasilkan surplus energi listrik (I Dewa Gde Yaya Putra Pratama1, I Nyoman Satya Kumara2, 2025). Selain itu, penelitian lain pada Gedung Kantor Bupati Jembrana menunjukkan bahwa implementasi PLTS *rooftop* mampu menyuplai kebutuhan energi listrik bangunan hingga 65,27% dan 77,55% pada skenario pemasangan seluruh atap gedung (Yusuf Firmansyah et al., 2023). Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan PLTS *rooftop* memiliki potensi yang sangat baik untuk diterapkan pada sistem kelistrikan SPKLU, terutama dalam mengurangi konsumsi energi dari jaringan PLN, meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan, serta mendukung pengembangan sistem transportasi rendah emisi berbasis kendaraan listrik.

Potensi pengembangan Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) yang didukung oleh sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menjadi solusi hemat biaya, ramah lingkungan, dan berkelanjutan di tengah meningkatnya kebutuhan listrik

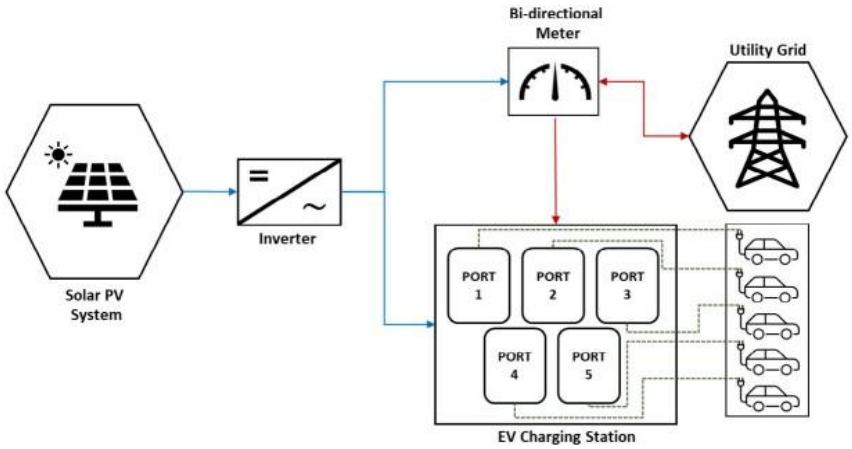
akibat pertumbuhan kendaraan listrik. PLTS mampu memenuhi hingga 79% kebutuhan energi harian SPKLU dan secara signifikan menurunkan biaya pengisian hingga tujuh kali lebih murah dibandingkan listrik PLN serta mengurangi emisi karbon hingga 36,8 kg CO_2 per hari. Temuan ini memberikan gambaran bahwa dengan desain yang tepat, SPKLU berbasis energi surya tidak hanya layak secara teknik dan ekonomis, tetapi juga berperan penting dalam mempercepat transisi menuju transportasi rendah karbon yang inklusif dan berkelanjutan (Dik et al., 2023).

Dengan pertumbuhan pesat kendaraan listrik secara global, integrasi antara PLTS dan SPKLU menjadi pendekatan strategis untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan mengatasi beban pada jaringan listrik (Khan et al., 2017). Sistem hibrida energi adalah kombinasi dari berbagai sumber energi untuk menyediakan daya yang lebih andal dan efisien. Umumnya, sistem ini menggabungkan sumber energi terbarukan seperti halnya tenaga surya dengan sumber energi konvensional. Prinsip dasar dari sistem hibrida energi adalah memanfaatkan kelebihan dari masing-masing sumber energi untuk mengatasi kekurangan yang ada, misalnya, tenaga surya hanya tersedia saat siang hari, sedangkan diesel dapat beroperasi kapan saja, tetapi memerlukan bahan bakar fosil. Dengan mengintegrasikan keduanya, sistem hibrida dapat menyediakan daya yang lebih stabil dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil sekaligus meningkatkan efisiensi penggunaan energi terbarukan (He & Fathabadi, 2020). Adapun sistem PV yang terhubung ke jaringan terdiri dari komponen primer dan sekunder seperti inverter, panel PV, meteran listrik, dan sakelar pengaman. (Dik et al., 2023) .

Sistem hibrida energi melibatkan kombinasi sumber energi terbarukan seperti halnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan sistem penyimpanan energi baterai untuk menciptakan solusi pengisian daya yang berkelanjutan dan efisien. Sistem ini dirancang untuk mengoptimalkan penggunaan energi terbarukan, mengurangi beban pada jaringan listrik, dan menyediakan pasokan energi yang stabil dan andal. Konsep hibrida ini penting untuk mengatasi variabilitas produksi energi terbarukan dan memastikan ketersediaan energi yang konsisten untuk stasiun pengisian EV (Petrusic & Janjic, 2021).

Sistem hibrida energi juga mencakup kombinasi dari dua atau lebih sumber energi yang berbeda untuk menghasilkan tenaga listrik yang lebih andal. Konsep ini sering kali menggabungkan sumber energi terbarukan seperti tenaga surya dan angin dengan sumber

energi konvensional seperti bahan bakar fosil atau sistem penyimpanan energi seperti baterai (Fitriana et al., 2020). Tujuan utama dari sistem hibrida ini adalah untuk memanfaatkan kelebihan dari masing-masing sumber energi, seperti ketersediaan sumber energi terbarukan yang fluktuatif dengan stabilitas dari sumber energi konvensional atau penyimpanan energi (Jain & Bhullar, 2024).



(Dik et al., 2023)

Gambar 2.5 Diagram skematik SPKLU berbantuan PLTS Atap

Gambar tersebut menggambarkan skema integrasi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya ke dalam Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik *(EV Charging Station)* yang dirancang untuk efisiensi biaya. Alurnya dimulai dari *Solar PV System*, yang menghasilkan listrik DC, kemudian melewati inverter untuk dikonversi menjadi listrik AC. Listrik AC ini selanjutnya masuk ke *EV Charging Station* melalui *bi-directional* meter, yang berfungsi mengukur arus listrik masuk dan keluar termasuk saat kelebihan listrik disalurkan kembali ke *utility grid*. *Charging station* memiliki beberapa *port* pengisian dimana kendaraan listrik dapat diisi. Saat pasokan PV tidak mencukupi atau selama malam hari, listrik cadangan akan diambil dari *grid* melalui meter dua arah tersebut. Konfigurasi ini memungkinkan penggunaan energi surya secara langsung untuk pengisian EV dan menjual surplus ke *grid*, meningkatkan efisiensi biaya dan keberlanjutan pengoperasian stasiun. (Dik et al., 2023).

2.2.3 Integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan Jaringan PLN

Integrasi energi terbarukan dengan jaringan listrik konvensional memerlukan pendekatan yang canggih dalam manajemen dan pengaturan energi. Dalam jurnalnya (Petrusic & Janjic, 2021) membahas penggunaan algoritma optimasi seperti algoritma genetika dan optimasi partikel *swarm* untuk mengatur distribusi energi antara sumber terbarukan, dan jaringan listrik. Pendekatan ini memungkinkan pengelolaan yang efisien dan ekonomis, serta membantu dalam penyeimbangan beban dan mitigasi fluktuasi daya yang dihasilkan oleh sumber energi terbarukan. Integrasi ini memungkinkan pengurangan emisi karbon dan ketergantungan pada sumber energi fosil. Selain itu, sistem kontrol yang canggih diperlukan untuk mengelola aliran daya dari berbagai sumber dan memastikan stabilitas serta keandalan jaringan listrik secara keseluruhan (He & Fathabadi, 2020). Sistem ini juga menggabungkan berbagai sumber energi untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan suplai energi. Dalam konteks kendaraan listrik, sistem *hybrid* bisa mengacu pada penggunaan kombinasi baterai dan sel bahan bakar atau integrasi dengan sumber energi terbarukan seperti panel surya. Sistem *hybrid* energi, merupakan bagian integral dari strategi untuk mengurangi emisi dan mempromosikan penggunaan energi terbarukan. (Fitriana et al., 2020).

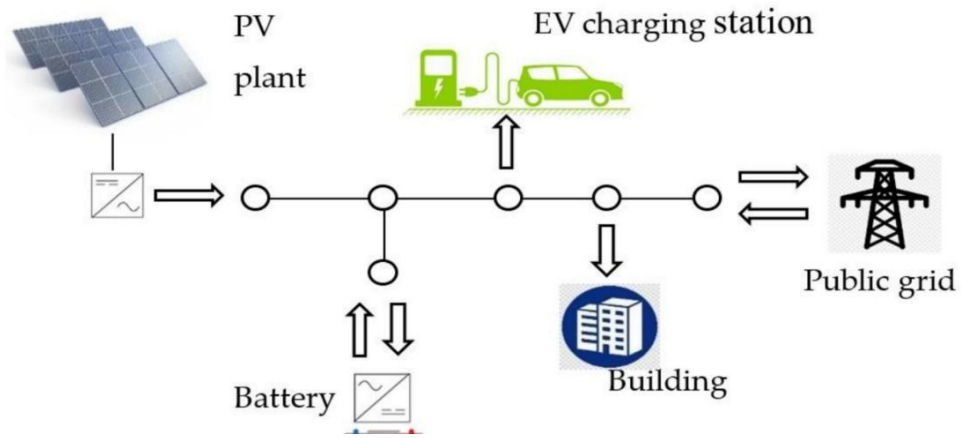
Sistem *hybrid* merupakan sistem yang menggabungkan berbagai sumber energi untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, dan keberlanjutan suplai energi. Dalam konteks integrasi sumber energi terbarukan, sistem *hybrid* biasanya melibatkan kombinasi antara sumber energi terbarukan seperti tenaga surya *fotovoltaik* (PV) dengan jaringan listrik konvensional (Jain & Bhullar, 2024).

Adapun Keuntungan dan Manfaat dari sistem *hybrid* ini adalah :

1. Efisiensi Energi. Integrasi sumber energi terbarukan dalam sistem *hybrid* memungkinkan penggunaan energi secara optimal. Pada saat kondisi cuaca mendukung, sistem dapat mengandalkan energi terbarukan seperti PV untuk memenuhi kebutuhan daya, sementara pada saat produksi energi terbarukan menurun, sistem dapat beralih menggunakan energi dari jaringan listrik atau baterai penyimpanan.
2. Keandalan Suplai Energi. Kombinasi berbagai sumber energi meningkatkan keandalan suplai energi. Jika salah satu sumber mengalami gangguan, sumber lain dapat mengambil alih, sehingga mengurangi risiko pemadaman.

3. Optimisasi Biaya. Sistem *hybrid* dapat diatur untuk memanfaatkan tarif listrik yang lebih murah pada waktu-waktu tertentu, seperti pengisian daya pada malam hari. Selain itu, penggunaan energi terbarukan yang gratis dapat mengurangi biaya operasional dalam jangka panjang.

Integrasi sumber energi terbarukan dalam sistem *Hybrid* untuk pengisian kendaraan listrik adalah langkah penting menuju keberlanjutan energi. Dengan terus berkembangnya teknologi energi terbarukan dan peningkatan adopsi kendaraan listrik, penerapan sistem *hybrid* ini akan menjadi semakin relevan dan vital dalam mencapai tujuan keberlanjutan energi global (Jain & Bhullar, 2024).



Gambar 2.6 Skema koneksi PV – sumber Listrik konvensional – EV

Sumber : (Petrusic & Janjic, 2021)

Integrasi sumber energi terbarukan dalam sistem tenaga hibrida bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sistem energi. Proses ini melibatkan penggunaan teknologi seperti panel surya yang diintegrasikan dengan jaringan listrik konvensional. Pendekatan ini memungkinkan pemanfaatan energi terbarukan yang dihasilkan saat kondisi optimal, atau energi konvensional saat sumber terbarukan tidak tersedia. Selain itu, teknologi manajemen energi dan pengoptimalan sistem sangat penting dalam memastikan bahwa distribusi energi dari berbagai sumber dilakukan secara efisien dan stabil (Jain & Bhullar, 2024).

Berdasarkan Peraturan Menteri ESDM Nomor 2 Tahun 2024, setiap sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang akan diintegrasikan ke jaringan listrik PLN wajib memiliki Sertifikat Laik Operasi (SLO). SLO ini menjadi bukti formal bahwa instalasi PLTS telah memenuhi standar keselamatan dan kelaikan teknik sesuai regulasi yang berlaku. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa integrasi sistem PLTS tidak

mengganggu stabilitas dan keandalan jaringan listrik milik Pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk Kepentingan Umum (IUPTLU), dalam hal ini PLN. Tanpa SLO, instalasi PLTS dilarang untuk beroperasi secara paralel dengan jaringan PLN karena berisiko menimbulkan gangguan seperti tegangan balik (*back feed*), harmonisa, maupun ketidaksesuaian proteksi sistem, yang dapat membahayakan peralatan jaringan maupun keselamatan publik. Dengan demikian, kewajiban memiliki SLO merupakan langkah preventif penting untuk menjamin keamanan sistem tenaga listrik nasional. (Menteri ESDM, 2024)

2.2.4 Analisis Kelayakan Finansial

Suatu kegiatan bisnis yang dijadikan oleh suatu perusahaan, memiliki tujuan keuangan yang positif (Astonugroho & Rosa, 2023). Analisis kelayakan finansial Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) bertujuan untuk menilai kelayakan finansial dari suatu proyek melalui proyeksi biaya dan manfaat sepanjang umur sistem. Dari sisi operasional dan ekonomi, integrasi PLTS pada SPKLU memerlukan perencanaan kapasitas sistem, pengelolaan biaya investasi, serta analisis performa energi secara menyeluruh (Eugene F. Brigham, 2015). Konsep evaluasi biaya modal, analisis arus kas, dan pengelolaan investasi energi menjadi bagian penting dalam menentukan kelayakan implementasi sistem PLTS pada infrastruktur SPKLU. Selain itu, faktor ekonomi makro seperti perkembangan inflasi dan perubahan biaya energi juga dapat mempengaruhi biaya operasional sistem kelistrikan dan investasi teknologi energi terbarukan. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik tahun 2025, kelompok transportasi mengalami inflasi sebesar 0,76% secara year-on-year yang menunjukkan adanya peningkatan aktivitas dan kebutuhan sektor transportasi nasional (Badan Pusat Statistik, 2025).

Dalam kajian ini, pendekatan yang digunakan mengacu pada metode kuantitatif yang lazim dalam studi kelayakan investasi, antara lain: *Net Present Value* (NPV), Benefit Cost Ratio (BCR), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Payback Period* (PP). Penelitian sebelumya yang dilakukan oleh (Pawenary et al., 2022) Analisis teknik dan finansial untuk mengevaluasi kelayakan pembangunan sistem PLTS *on grid,* dengan metode perhitungan NPV, IRR, dan Payback Period, hasil studi menunjukkan bahwa proyek PLTS tersebut layak secara ekonomi.

Masing-masing metode memberikan perspektif yang berbeda dalam mengevaluasi apakah investasi layak dilakukan. NPV digunakan untuk mengetahui apakah keuntungan bersih proyek (setelah diskonto) bernilai positif atau negatif. IRR mengukur tingkat pengembalian internal yang setara dengan titik impas investasi, PP digunakan untuk melihat seberapa cepat modal awal bisa kembali. Metode-metode ini saling melengkapi dalam memberikan gambaran menyeluruh terhadap prospek ekonomis dari pembangunan PLTS. (Riawan et al., 2022).

Berikut juga adalah parameter yang digunakan dalam study literatur:

1. *Net Present Value* (NPV)

PLTS membutuhkan studi analisis kelayakan sebelum pembangunan dilaksanakan. Hal tersebut dilakukan dengan tujuan supaya terhindar dari kerugian investasi yang besar. Analisis kelayakan ekonomi PLTS sudah banyak dilakukan dengan metode *Net Present Value* (NPV) (Abdurrohman & Batih, 2023). NPV adalah perbedaan antara nilai sekarang (*present value*) dari arus kas masuk dan arus kas keluar selama jangka waktu tertentu. Sebuah investasi dianggap layak atau disetujui jika NPV nya positif atau lebih tinggi atau NPV dikatakan layak jika NPV ≥ 1. Perhitungan NPV dilakukan dengan menggunakan rumus yang mempertimbangkan nilai waktu uang dan arus kas terkait investasi. (Sechan et al., 2024).

Di dalam jurnalnya (Dr. Zainuri, S.T., 2015) yang dikutip dari jurnal Soeharto, I. (2001) memberikan indikasi angka perolehan penilaian berdasarkan NPV. Indikasi dari angka perolehan perhitungan NPV adalah :

a. NPV bernilai positif (+) berarti baik dan dapat diterima.
b. NPV bernilai negatif (-) berarti ditolak.
c. NPV sama dengan nol (0) bersifat netral. Boleh diterima, bisa juga ditolak.

Penilaian NPV memiliki kelebihan diantaranya adalah:

- Memasukkan faktor nilai waktu dari uang.
- Mempertimbangkan semua aliran kas proyek.
- Mengukur besaran absolut bukan relatif sehingga mudah mengikutinya terhadap usaha meningkatkan kekayaan perusahaan atau pemegang saham.

2. *Benefit Cost Ratio* (B/C *Ratio*)

Menrut (Dr. Zainuri, S.T., 2015) BCR *(Benefit Cost Ratio)* adalah suatu nilai perbandingan antara nilai ekivalen dari manfaat *(benefit)* dengan nilai biaya *(cost)* pada suatu titik waktu yang sama. Keputusan akan diambil berdasarkan nilai *Benefit Cost Ratio* yang diperoleh dengan ketentuan:

1. Jika nilai BCR ≥ 1 maka hal tersebut menginformasikan bahwa *benefit* (manfaat) dari investasi yang akan dikeluarkan lebih besar dari pengorbanan/biaya yang dikeluarkan, sehingga rencana investasi tersebut dapat diterima atau dinyatakan layak.
2. Jika nilai BCR < 1, dikatakan bahwa nilai benefit yang akan diperoleh dari sejumlah investasi yang akan ditanamkan lebih kecil dari biaya yang dikeluarkan, sehingga rancana investasi tersebut dapat dikatakan tidak layak dan sebaiknya tidak diteruskan.

3. *Internal Rate of Return* (IRR)

Metode ini adalah suatu nilai petunjuk yang identik dengan seberapa besar suku bunga yang dapat diberikan oleh investasi tersebut dibandingkan dengan suku bunga bank yang berlaku umum (suku bunga pasar atau *Minimum Attractive Rate of Return* (MARR)). Pada suku bunga IRR akan diperoleh NPV = 0. Syarat kelayakannya yaitu apabila IRR > suku bunga MARR (Putra et al., 2022). IRR merupakan tingkat suku bunga yang akan menjadikan jumlah nilai sekarang dari *proceeds* yang diharapkan akan diterima *(PV of future proceeds)* sama dengan jumlah nilai sekarang dari pengeluaran modal *(PV of capital outlays)*.

4. *Payback Period* (PP)

Pada metode ini yang dianalisis adalah seberapa cepat modal atau investasi yang telah dikeluarkan dapat segera kembali. Nilai payback period yang semakin kecil akan semakin baik, dengan faktor risiko terhadap pengembalian modal akan semakin cepat dalam waktu yang cepat (Riawan et al., 2022).

Nilai PP ini diperoleh dari perbandingan antara modal investasi yang sudah dikeluarkan dan potensi arus kas masuk bersih yang diperoleh dari kegiatan investasi tersebut. Kriteria penilaiannya adalah semakin singkat pengembalian investasi akan semakin baik.(Putra et al., 2022). Masa pengembalian modal merupakan jangka waktu

yang diperlukan untuk mendapatkan kembali sejumlah modal yang ditanamkan. (Dr. Zainuri, S.T., 2015).

2.2.5 Penggunaan *Software* Aplikasi *PVsyst*

Penggunaan *software* dalam perancangan PLTS memberikan simulasi secara akurat dan efisien sehingga mampu mendapatkan desain dan kinerja perancangan yang baik. *Software* menyediakan analisis berbagai fitur seperti akurasi, kompleksitas, skala, kecepatan komputasi, representasi serta integrasi pada perancangan PLTS. *PVsyst* adalah paket *software* yang dapat digunakan sebagai proses pembelajaran, pengukuran, dan melakukan analisa data sistem PLTS secara lengkap (Putra et al., 2022).

Pengembangan *software PVsyst* dilakukan oleh Universitas Geneva, dimana pada *software* ini memiliki pilihan model sistem PLTS seperti terinterkoneksi jaringan (*grid-connected*), sistem berdiri sendiri (*stand-alone*) sistem pompa (*pumping*), dan jaringan arus searah untuk transportasi publik *(DC-grid). Software PVsyst* dilengkapi *database* yang bersumber dari data meteorologi yang luas dan beragam, serta memiliki data komponen-komponen PLTS yang beredar di pasaran. Data meteorologi yang dapat digunakan pada *software PVsyst* bersumber dari MeteoNorm v6.1 (*interpolasi* 1960-1990 atau 1981-2000), NASA-SSE (1983- 2005), PVGIS (Eropa dan Afrika), *Satel-Light* (Eropa), TMY2/3 dan *SolarAnywhere* (USA), EPW (Kanada), *RetScreen*, Heliolim, dan Solar GIS (Putra et al., 2022).

Berdasarkan teori-teori dan penelitian sebelumnya yang telah dikaji, penulis menemukan adanya kebutuhan untuk menganalisis secara lebih mendalam implementasi sistem *hybrid* di wilayah yang memiliki karakteristik geografis seperti di wilayah Kalimantan Barat. Penelitian ini penulis rancang dengan pendekatan observasi lapangan yaitu pada lokasi PLTS yang sudah di bangun dan simulasi yang berbasis perangkat lunak *PVsyst* untuk mengukur efisiensi teknik serta kelayakan investasi dari sistem PLTS yang terintegrasi dengan SPKLU.