



PERANCANGAN SISTEM PENERANGAN JALAN UMUM BERBASIS PANEL SURYA

Endang Susanti¹⁾, Pamor Gunoto²⁾, Vikramz Lumban Tobing³⁾, Yohan Fernando Aritonang⁴⁾,
Chivalry Vinsenzio Sefedra Lamar⁵⁾

^{1,2,3,4,5)}Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau Kepulauan
Corresponding Author E-Mail: endang@ft.unrika.ac.id

ABSTRAK

Peningkatan kebutuhan energi listrik serta tingginya ketergantungan terhadap energi fosil mendorong perlunya pengembangan energi terbarukan yang berkelanjutan. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah Penerangan Jalan Umum (PJU) berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja teknis dan kelayakan ekonomis sistem PJU berbasis panel surya. Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif-analitis dengan pendekatan kuantitatif dan studi literatur. Data diperoleh melalui pengukuran tegangan, arus, dan daya keluaran panel surya pada berbagai kondisi intensitas cahaya matahari, serta analisis biaya investasi dan operasional sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya keluaran panel surya berada pada rentang 32,4 W hingga 193,32 W, dengan performa optimal terjadi pada pukul 11.00–12.00 saat intensitas cahaya maksimum. Sebaliknya, pada kondisi cuaca berawan hingga menjelang gelap, daya mengalami penurunan signifikan. Dari sisi ekonomi, sistem PLTS dinilai layak karena mampu menekan konsumsi energi listrik konvensional dan memiliki biaya operasional yang relatif rendah. Dengan demikian, PJU berbasis PLTS merupakan solusi penerangan yang efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan.

Kata kunci : PLTS, PJU, energi terbarukan

ABSTRACT

The increasing demand for electrical energy and the high dependence on fossil fuels highlight the need for sustainable renewable energy development. One applicable solution is a solar-powered public street lighting system based on photovoltaic technology. This study aims to analyze the technical performance and economic feasibility of a solar-powered public street lighting system. The research method employs a descriptive-analytical approach with quantitative analysis and literature review. Data were obtained through measurements of voltage, current, and output power under various solar irradiation conditions, as well as analysis of investment and operational costs. The results indicate that the output power of the solar panels ranges from 32.4 W to 193.32 W, with optimal performance occurring between 11:00 and 12:00 when solar intensity is at its peak. Conversely, output power decreases significantly under cloudy conditions and near sunset. From an economic perspective, the system is considered feasible due to its ability to reduce conventional electricity consumption and its relatively low operational and maintenance costs. Therefore, solar-powered public street lighting represents an efficient, environmentally friendly, and sustainable solution.

Keyword : photovoltaic system, street lighting, renewable energy

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia menunjukkan tren peningkatan yang signifikan seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk, perkembangan sektor industri, serta meningkatnya aktivitas konsumsi energi di sektor rumah tangga. Hingginya ketergantungan terhadap sumber energi fosil, seperti batu bara

dan minyak bumi, memunculkan berbagai permasalahan, antara lain peningkatan emisi karbon, kesulitan dalam pengendalian gas rumah kaca, ketidakstabilan harga bahan bakar, serta risiko terhadap keberlanjutan energi dalam jangka panjang. Kondisi tersebut telah mendapatkan perhatian pemerintah melalui Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2021 tentang



Harmonisasi Peraturan Perpajakan (UU HPP) yang mengatur kebijakan pajak karbon, serta Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon (Perpres 98/2021) sebagai landasan hukum dalam pelaksanaan mekanisme nilai ekonomi karbon, termasuk perdagangan karbon dan pengendalian emisi gas rumah kaca.

Sebagai upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut, pemerintah Indonesia mendorong pengembangan dan pemanfaatan energi terbarukan sebagaimana tercantum dalam Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), yang menetapkan target kontribusi energi baru terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025. Salah satu bentuk penerapan energi terbarukan yang relevan dalam konteks ini adalah penggunaan sistem penerangan jalan umum (PJU) berbasis tenaga surya, yang mencakup aspek konsep perancangan hingga implementasinya di lapangan.

Dalam implementasinya, sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) untuk PJU umumnya menggunakan dua unit panel surya (*photovoltaic*) dengan kapasitas masing-masing 100 Wp serta satu unit lampu penerangan jalan umum yang beroperasi menggunakan energi yang dihasilkan dari panel surya tersebut. Sistem ini biasanya terdiri atas panel surya, solar charge controller (SCC), baterai sebagai media penyimpanan energi, serta inverter. Panel surya berfungsi menangkap radiasi matahari dan mengonversinya menjadi energi listrik, yang selanjutnya dikendalikan oleh solar charge controller untuk memastikan proses pengisian baterai berlangsung secara aman dan efisien serta mencegah terjadinya overcharging. Baterai berperan sebagai penyimpan energi agar pasokan listrik tetap tersedia ketika intensitas cahaya matahari tidak mencukupi, sedangkan inverter berfungsi mengubah tegangan listrik searah (DC) dari baterai menjadi arus bolak-balik (AC) agar sesuai dengan kebutuhan peralatan listrik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Pembangkit Tenaga Listrik dan Jenis-Jenisnya

Listrik merupakan salah satu hasil perkembangan ilmu pengetahuan yang berperan

penting dalam kehidupan modern. Perkembangan teknologi kelistrikan tidak lepas dari kontribusi ilmuwan seperti Benjamin Franklin, Alessandro Volta, dan Michael Faraday, sementara Thomas Alva Edison dikenal atas pengembangan lampu pijar dan sistem distribusi listrik komersial. Saat ini, energi listrik menjadi media paling efisien dan ekonomis dalam penyaluran energi. Pembangkit listrik memanfaatkan beragam sumber energi, baik fosil maupun non-fosil, seperti air, angin, panas bumi, nuklir, dan surya. Umumnya, listrik dihasilkan pada tegangan menengah (6–20 kV) dan kemudian dinaikkan ke tegangan tinggi untuk transmisi jarak jauh menuju pusat beban.

2.1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) merupakan pembangkit termal yang menggunakan panas dari reaksi fisi inti atom, terutama Uranium, sebagai sumber energi. Panas tersebut dimanfaatkan untuk menghasilkan uap yang menggerakkan turbin dan generator, serupa dengan prinsip kerja PLTU, namun dengan sumber panas yang berbeda. PLTN umumnya beroperasi sebagai pembangkit beban dasar karena paling efisien pada daya stabil. Energi nuklir dihasilkan melalui reaksi inti atom berupa fisi dan fusi, yang keduanya mampu melepaskan energi dalam jumlah besar. Meskipun teknologi fusi memiliki potensi besar, penerapannya masih terbatas karena tantangan teknis dan kestabilan reaktor. Komponen utama PLTN meliputi reaktor nuklir, steam generator, turbin uap, generator, kondensor, ruang kendali, dan bangunan pengungkung untuk menjamin keselamatan operasional.

2.1.2 Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) menggunakan turbin gas sebagai penggerak utama generator listrik. Sistem ini terdiri atas kompresor, ruang bakar, dan turbin gas. Udara dikompresi, dicampur dengan bahan bakar, lalu dibakar untuk menghasilkan gas panas bertekanan tinggi yang memutar turbin. Energi mekanik dari turbin kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator. PLTG memiliki efisiensi relatif rendah dan konsumsi bahan



bakar tinggi, sehingga lebih sering digunakan untuk memenuhi beban puncak. Gas buang yang masih bersuhu tinggi memungkinkan pemanfaatan lanjutan dalam sistem pembangkit siklus gabungan (*combined cycle*).

2.1.3 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) memanfaatkan mesin diesel sebagai penggerak generator listrik. Mesin diesel bekerja dengan prinsip penyalaan kompresi, di mana bahan bakar solar terbakar akibat tekanan dan suhu tinggi di dalam silinder. PLTD banyak digunakan untuk penyediaan listrik skala kecil, terutama di daerah terpencil atau sebagai sumber daya cadangan. Keunggulan mesin diesel terletak pada efisiensi bahan bakar dan daya tahan operasional, meskipun biaya investasi awal relatif tinggi. Sistem PLTD terdiri dari tangki bahan bakar, mesin diesel, generator, sistem pendinginan, transformator, serta jaringan transmisi dan distribusi.

2.1.4 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) memanfaatkan energi kinetik angin sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan. Angin terjadi akibat perbedaan tekanan udara dan dapat dimanfaatkan di wilayah dengan kecepatan angin memadai, seperti daerah pesisir dan dataran terbuka. Energi angin menggerakkan baling-baling turbin, yang kemudian memutar rotor dan generator untuk menghasilkan listrik. PLTB memiliki potensi besar di Indonesia karena ketersediaan angin yang melimpah di beberapa wilayah. Selain bersifat berkelanjutan, energi angin juga tidak menghasilkan emisi pencemar sehingga mendukung pengembangan energi bersih.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

2.2.1 Pengembangan Energi Surya Dan Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca

Keberlanjutan telah menjadi prinsip utama dalam arah pembangunan nasional Indonesia dan sejalan dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals/SDGs*), khususnya SDG 7 yang

menekankan akses energi bersih dan terjangkau. Peningkatan jumlah penduduk dan aktivitas ekonomi menyebabkan kebutuhan energi terus meningkat, sementara ketergantungan pada energi fosil masih tinggi dan berdampak pada meningkatnya emisi gas rumah kaca (GRK).

Sebagai respons terhadap tantangan perubahan iklim, berbagai kesepakatan internasional seperti Protokol Kyoto dan Perjanjian Paris menekankan pentingnya pengurangan emisi global guna menahan kenaikan suhu bumi di bawah 2°C, bahkan hingga 1,5°C (Zulkifli, 2018). Indonesia turut berkomitmen melalui *Nationally Determined Contribution* (NDC) dengan target penurunan emisi sebesar 29% secara mandiri dan hingga 41% dengan dukungan internasional pada tahun 2030.

Sektor energi masih menjadi penyumbang utama emisi GRK di Indonesia. Oleh karena itu, pemerintah mendorong pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT), salah satunya energi surya, sebagai strategi mitigasi perubahan iklim. Meskipun kontribusi EBT dalam bauran energi nasional masih relatif rendah, potensi energi surya di Indonesia sangat besar dan tersebar merata. Tantangan utama pengembangannya meliputi tingginya biaya investasi awal, keterbatasan teknologi dan infrastruktur, serta kendala pendanaan. Namun demikian, energi surya tetap menjadi sumber EBT yang prospektif dan strategis dalam mendukung pembangunan berkelanjutan serta pencapaian target penurunan emisi nasional.

2.2.2 Energi Baru Terbarukan (EBT)

Energi primer yang tersedia di alam dapat diklasifikasikan menjadi energi tidak terbarukan, energi baru, dan energi terbarukan. Energi tidak terbarukan, seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam, memiliki keterbatasan cadangan dan menimbulkan dampak lingkungan yang signifikan. Sementara itu, energi baru merupakan energi yang dihasilkan melalui pengembangan teknologi, baik yang berasal dari sumber terbarukan maupun tidak terbarukan, seperti energi nuklir dan hidrogen.

Energi terbarukan berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbarui secara berkelanjutan, antara lain energi surya, air, angin, bioenergi, dan panas bumi. Pemanfaatan EBT semakin



mendapat perhatian dalam sektor ketenagalistrikan karena dinilai lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Secara global, meskipun pembangkit berbahan bakar fosil masih mendominasi, tren pemanfaatan EBT terus meningkat dan diproyeksikan menjadi tulang punggung sistem ketenagalistrikan di masa depan.

Di Indonesia, pemanfaatan energi surya melalui teknologi fotovoltaik diperkirakan akan terus berkembang, didorong oleh komitmen penurunan emisi GRK, kebijakan pemerintah, serta kemajuan teknologi yang semakin menurunkan biaya produksi. Potensi radiasi matahari yang tinggi dan relatif merata menjadikan energi surya sebagai salah satu EBT paling menjanjikan untuk dikembangkan secara luas.

2.2.3 Transisi Energi

Transisi energi di Indonesia diarahkan melalui berbagai dokumen kebijakan, mulai dari Kebijakan Energi Nasional (KEN), Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), hingga Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) dan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL). Kebijakan tersebut menegaskan prioritas pengembangan energi terbarukan guna menekan emisi gas rumah kaca sekaligus menjaga ketahanan energi nasional.

Dalam KEN ditetapkan target pemanfaatan energi baru dan terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025 dan meningkat menjadi sekitar 31% pada tahun 2050. RUEN kemudian menjadi pedoman operasional lintas sektor dalam mencapai target tersebut, yang selanjutnya diterjemahkan ke tingkat daerah melalui RUED-P. RUPTL yang disusun oleh PT PLN (Persero) berfungsi sebagai acuan pengembangan sistem ketenagalistrikan nasional selama sepuluh tahun ke depan.

Peningkatan peran energi surya dan EBT lainnya merupakan bagian penting dari proses transisi energi, baik di Indonesia maupun di negara-negara lain. Sejumlah negara telah menetapkan target ambisius menuju sistem energi rendah karbon, menunjukkan bahwa EBT menjadi elemen kunci dalam pembangunan energi masa depan.

2.2.4 Jenis-Jenis Energi Baru Terbarukan (EBT)

1. Energi Biomasa

Energi biomasa berasal dari bahan organik seperti limbah pertanian, sampah domestik, dan gulma air. Pemanfaatan biomasa tidak hanya berfungsi sebagai sumber energi alternatif, tetapi juga membantu mengurangi pencemaran lingkungan. Contohnya adalah pengolahan eceng gondok menjadi briket biomassa yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Selain meningkatkan kualitas lingkungan perairan, pemanfaatan biomasa juga membuka peluang ekonomi dan lapangan kerja bagi masyarakat sekitar.

2. Energi Surya

Energi surya merupakan energi yang berasal dari radiasi matahari dan tergolong energi terbarukan yang ketersediaannya melimpah. Indonesia memiliki potensi radiasi surya yang tinggi dengan rata-rata sekitar 4,8 kWh/m² per hari. Pemanfaatan energi surya untuk pembangkitan listrik dilakukan melalui dua metode utama, yaitu sistem fotovoltaik yang mengubah cahaya matahari secara langsung menjadi listrik, serta pembangkit listrik tenaga surya termal yang memanfaatkan panas matahari untuk menghasilkan uap penggerak turbin.

3. Energi Angin

Energi angin dihasilkan dari pergerakan udara akibat perbedaan tekanan dan suhu. Energi kinetik angin dimanfaatkan untuk memutar turbin yang terhubung dengan generator listrik. Energi angin bersifat ramah lingkungan dan memiliki biaya operasional rendah, meskipun sangat bergantung pada kondisi angin dan memerlukan area yang luas. Di Indonesia, potensi energi angin cukup besar, khususnya di wilayah pesisir dan dataran tinggi.

4. Energi Air

Energi air atau hydropower memanfaatkan aliran air sungai, waduk, atau fenomena pasang surut untuk menghasilkan listrik. Energi ini memiliki keunggulan berupa pasokan listrik yang stabil dan kapasitas pembangkitan yang besar. Namun, pembangunan pembangkit tenaga air memerlukan investasi tinggi dan dapat menimbulkan dampak terhadap ekosistem

sekitar. Indonesia memiliki potensi energi air yang sangat besar, terutama di wilayah Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua.

2.2.5 Pengertian Sistem *Hybrid* pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Sistem *hybrid* pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sistem pembangkitan listrik yang mengombinasikan energi surya dengan sumber energi lain, seperti jaringan listrik PLN, generator diesel, atau sistem penyimpanan energi berupa baterai. Tujuan utama penerapan sistem *hybrid* adalah meningkatkan keandalan pasokan listrik, khususnya saat intensitas radiasi matahari rendah atau pada malam hari. Dengan adanya kombinasi beberapa sumber energi, sistem ini mampu menjaga kontinuitas suplai listrik serta mengoptimalkan pemanfaatan energi terbarukan secara lebih stabil dan efisien.

2.2.6 Penerapan PLTS *Hybrid* di Indonesia

Penerapan PLTS *hybrid* di Indonesia berkembang seiring dengan meningkatnya kebutuhan listrik dan upaya pemerintah dalam mendorong pemanfaatan energi baru terbarukan. Sistem ini banyak diterapkan di daerah terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik konvensional, maupun sebagai sistem pendukung pada jaringan eksisting. Selain meningkatkan keandalan pasokan listrik, PLTS *hybrid* juga berkontribusi dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil serta menekan emisi gas rumah kaca, sehingga sejalan dengan kebijakan transisi energi dan pembangunan berkelanjutan di Indonesia.

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam kajian ini adalah metode deskriptif-analitis dengan pendekatan kuantitatif dan studi literatur, yang bertujuan untuk menganalisis kinerja teknis serta kelayakan ekonomis sistem Penerangan Jalan Umum (PJU) berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Penelitian diawali dengan pengumpulan data primer berupa hasil pengukuran tegangan, arus, dan daya keluaran panel surya pada berbagai kondisi intensitas cahaya dan waktu pengamatan, serta data sekunder yang diperoleh dari literatur, buku, dan

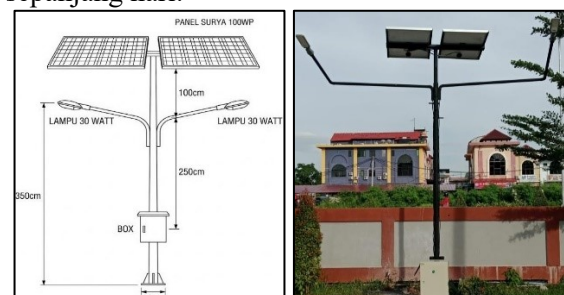
dokumen pendukung terkait teknologi PLTS. Data teknis dianalisis untuk mengetahui pola performa sistem, sementara analisis ekonomi dilakukan melalui perhitungan biaya investasi awal (CapEx), biaya operasional dan pemeliharaan (OpEx), serta evaluasi manfaat jangka panjang. Seluruh hasil analisis kemudian diinterpretasikan secara sistematis untuk menilai efektivitas, efisiensi, dan keberlanjutan penerapan PLTS sebagai solusi PJU mandiri.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Desain Sistem PJU Berbasis Tenaga Surya, Meliputi Pembahasan Konsep Kerja Dan Penerapan Teknis Di Lapangan

4.1.1 Desain atau Pondasi Penerangan Jalan Umum Berbasis Panel Surya

Desain sistem PJU berbasis panel surya mencakup perencanaan struktur mekanik dan tata letak komponen agar sistem dapat beroperasi secara optimal dan aman. Pondasi berfungsi sebagai penyangga utama tiang lampu, panel surya, serta boks panel yang berisi komponen kelistrikan. Perancangan pondasi harus mempertimbangkan faktor kekuatan tanah, beban struktur, serta ketahanan terhadap kondisi lingkungan seperti angin dan hujan. Penempatan panel surya juga harus memperhatikan sudut kemiringan dan arah hadap agar dapat menangkap radiasi matahari secara maksimal sepanjang hari.

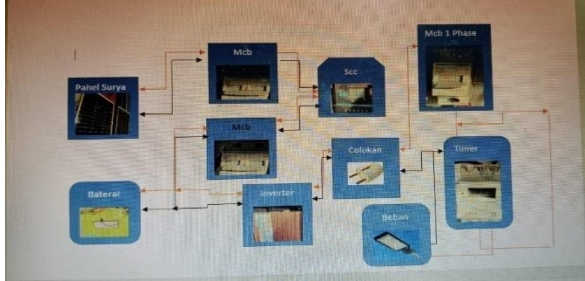


Gambar 1. Desain sistem PJU

4.1.2 Desain Wiring pada Penerangan Jalan Umum

Desain wiring atau pengkabelan merupakan bagian penting dalam sistem PJU berbasis panel surya. Pengkabelan harus dirancang secara rapi dan aman untuk menghindari kehilangan daya, korsleting, maupun gangguan operasional. Jalur kabel menghubungkan panel surya dengan *Solar Charge Controller* (SCC), baterai, inverter, serta

beban lampu penerangan. Selain itu, pemasangan komponen pengaman seperti MCB diperlukan untuk melindungi sistem dari arus lebih dan gangguan kelistrikan lainnya.



Gambar 2. Desain *wiring* PDU

4.1.3 Komponen Utama dan Fungsinya

1. Panel Surya (100 Wp dan 100 Wp)

Panel surya berfungsi mengonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik arus searah (DC). Panel surya merupakan sumber daya utama dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan berperan penting dalam mengurangi ketergantungan terhadap pasokan listrik dari jaringan PLN. Penggunaan panel surya juga memberikan keuntungan berupa sumber energi yang ramah lingkungan, bebas emisi, serta cocok untuk sistem mandiri (off-grid) yang tidak terhubung ke jaringan listrik umum.



Gambar 3. Solar cell 100Wp

2. Solar Charge Controller (SCC)

Solar Charge Controller berfungsi mengatur arus dan tegangan yang masuk dari panel surya ke baterai. SCC memastikan proses pengisian baterai berjalan aman dengan mencegah kondisi overcharging dan overdischarging. Selain itu, SCC juga berfungsi mencegah arus balik dari baterai ke panel surya serta menyediakan terminal keluaran beban yang terkontrol. Pada tipe MPPT, SCC mampu

mengoptimalkan daya yang dihasilkan panel surya sehingga efisiensi sistem meningkat.



Gambar 4. Solar charge controller

3. Inverter

Inverter berfungsi mengonversi listrik DC yang berasal dari baterai menjadi listrik AC yang dapat digunakan oleh beban seperti lampu penerangan jalan. Selain fungsi konversi, inverter juga berperan menjaga kestabilan tegangan keluaran serta melindungi sistem dari kondisi berbahaya seperti kelebihan beban, tegangan rendah, suhu berlebih, dan hubungan arus pendek.



Gambar 5. Inverter

4. Baterai

Baterai berfungsi sebagai media penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Energi yang tersimpan digunakan untuk menyuplai daya saat tidak terdapat sinar matahari, seperti pada malam hari. Baterai juga berperan menjaga kestabilan suplai daya dan memastikan sistem PDU berbasis panel surya dapat beroperasi secara berkelanjutan.



Gambar 6. Baterai Amaron

5. Timer TCH-15A

Timer TCH-15A berfungsi sebagai pengatur waktu otomatis untuk menyalakan dan mematikan lampu penerangan jalan sesuai jadwal yang telah ditentukan. Dengan penggunaan timer, sistem menjadi lebih efisien karena lampu hanya menyala pada waktu yang dibutuhkan, misalnya pada malam hari, tanpa perlu pengoperasian manual.



Gambar 7. Timer TCH-15A

4.1.4 Tahap Pemasangan PLTS

1. Pemasangan Komponen pada Panel

Tahap ini meliputi pemasangan panel surya, SCC, inverter, baterai, dan perangkat pendukung lainnya pada panel atau boks kontrol. Pemasangan dilakukan sesuai dengan desain

sistem untuk memastikan kemudahan pemeliharaan serta keamanan operasional.



Gambar 8. Panel

2. Wiring Pembangkit PLTS

Wiring dilakukan dengan menghubungkan seluruh komponen sesuai jalur yang telah direncanakan. Setiap sambungan diperiksa untuk memastikan koneksi kuat, aman, dan sesuai standar kelistrikan.



Gambar 9. Wiring

4.1.5 Langkah Evaluasi dan Pemeriksaan Untuk Setiap Komponen

Evaluasi dilakukan untuk memastikan seluruh komponen berfungsi dengan baik. Output daya panel surya dipantau melalui Solar Charge Controller, sedangkan tegangan keluaran inverter diperiksa menggunakan multimeter. Pada baterai, dilakukan pengecekan tegangan saat diberi beban dan saat proses pengisian. Timer juga diperiksa untuk memastikan tegangan kerja dan fungsi pengaturan waktu berjalan normal.



Gambar 10. Pengujian SCC



Gambar 13. Penerapan pada Timer Tch15A



Gambar 11. Mengukur tegangan output dan input inverter



Gambar 12. Penerapan pada baterai

4.1.6 Perhitungan terhadap Daya Serta Kapasitas Baterai

Perhitungan daya dan kapasitas baterai dilakukan untuk memastikan sistem mampu memenuhi kebutuhan energi beban. Faktor yang diperhitungkan meliputi total daya beban, intensitas dan durasi penyinaran matahari, serta karakteristik baterai seperti *Depth of Discharge* (DoD). Berdasarkan perhitungan total energi harian sebesar 416,4 Wh, kapasitas panel surya dan baterai ditentukan agar sistem dapat bekerja secara efisien dan berkelanjutan.

4.1.7 Cara Kerja Sistem Penerangan Jalan Umum Berbasis Panel Surya

Sistem PJU berbasis panel surya bekerja dengan menangkap energi matahari melalui panel surya dan mengubahnya menjadi listrik DC. Energi tersebut dialirkan melalui MCB menuju Solar Charge Controller untuk mengatur proses pengisian baterai. Energi yang tersimpan dalam baterai kemudian dikonversi menjadi listrik AC oleh inverter. Listrik AC disalurkan melalui MCB dan colokan menuju lampu penerangan jalan. Timer berfungsi mengatur waktu nyala dan mati lampu secara otomatis, sehingga lampu hanya beroperasi pada waktu yang diperlukan. Seluruh rangkaian dilengkapi sistem pengaman untuk menjaga keamanan dan keandalan operasional.

4.2 Evaluasi Ekonomis Dilakukan dengan Memanfaatkan Data dan Hasil Perhitungan yang Tersedia

Bab ini membahas evaluasi ekonomis dari penerapan sistem Pembangkit Listrik Tenaga



Surya (PLTS) pada penerangan jalan umum. Evaluasi dilakukan dengan memanfaatkan data teknis hasil pengukuran lapangan serta hasil perhitungan yang telah diperoleh sebelumnya. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem PLTS dari sisi teknis sekaligus menilai kelayakan ekonomi berdasarkan biaya investasi awal, biaya operasional, serta potensi manfaat yang diperoleh selama masa operasional sistem.

4.2.1 Data Pada PLTS

Data PLTS yang digunakan dalam evaluasi ini merupakan data terbaru yang diperoleh dari hasil pengukuran langsung pada sistem penerangan jalan umum berbasis panel surya. Nilai daya (Watt) pada data ini diperoleh dari hasil perkalian antara tegangan (Volt) dan arus (Ampere) yang dihasilkan panel surya pada waktu dan kondisi cuaca yang berbeda. Metode penyusunan data dilakukan dengan cara yang sama seperti perhitungan sebelumnya, sehingga hasil yang diperoleh tetap konsisten dan dapat dibandingkan secara teknis.

Tabel 1. Data Analisis PLTS

Waktu (Wib)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Keterangan
08:00	13.5	2.4	32.4	Cerah Berawan
09:00	17.2	4.8	82.56	Cerah
10:00	17.8	8.5	151.3	Cerah
11:00	18.1	10.2	184.62	Cerah
12:00	17.9	10.8	193.32	Cerah
13:00	16.8	7.5	126	Cerah
14:00	15.6	4.5	70.2	Berawan
15:00	14.9	3.3	49.17	Berawan
16:00	13.8	1.4	19.32	Mendung
17:00	14.1	0.8	11.28	Mulai Gelap
18:00	11.5	0.5	5.75	Mulai Gelap
19:00	0	0.05	0	Gelap
Total	171.2	54.75	925.9	

Berdasarkan data pada Tabel 4.1, dapat diamati bahwa peningkatan intensitas cahaya matahari berbanding lurus dengan kenaikan tegangan dan arus yang dihasilkan panel surya. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar intensitas radiasi matahari yang diterima, maka semakin besar pula output listrik yang dihasilkan oleh panel surya, sehingga daya keluaran sistem ikut meningkat. Variasi daya yang tercatat berada pada kisaran 32,4 W hingga 193,32 W.

Output daya tertinggi terjadi pada rentang waktu pukul 11.00–12.00, dengan nilai daya sekitar 184 W hingga 193,32 W. Kondisi ini menunjukkan bahwa panel surya bekerja secara optimal ketika posisi matahari berada pada titik tertinggi, sehingga radiasi yang diterima panel berada pada tingkat maksimum. Pada periode ini, sistem PLTS mampu menghasilkan energi listrik yang paling besar dan stabil.

Namun demikian, hasil pengukuran juga menunjukkan bahwa kondisi cuaca sangat memengaruhi kinerja panel surya. Penurunan daya yang cukup signifikan terjadi pada saat cuaca berawan, khususnya pada pukul 14.00–15.00, di mana daya keluaran menurun hingga sekitar 70,2 W dan 49,17 W. Pada kondisi mendung di pukul 16.00, daya yang dihasilkan semakin menurun hingga hanya mencapai sekitar 19,32 W.

Penurunan daya yang paling ekstrem terjadi pada kondisi “mulai gelap” menjelang sore hari. Pada kondisi ini, intensitas cahaya matahari yang diterima panel surya sangat rendah, sehingga daya keluaran sistem turun drastis hingga berada di bawah 12 W. Temuan ini menegaskan bahwa kinerja PLTS sangat bergantung pada ketersediaan cahaya matahari dan menekankan pentingnya peran baterai sebagai media penyimpanan energi untuk menjamin kontinuitas suplai listrik.

4.2.2 Analisis Perhitungan Biaya Ekonomi

Analisis ekonomi pada sistem PLTS dilakukan untuk menilai manfaat finansial dari penerapan penerangan jalan umum berbasis panel surya. Tujuan utama analisis ini adalah untuk mengetahui besarnya biaya yang dibutuhkan selama masa investasi, biaya operasional yang dikeluarkan, serta kelayakan ekonomi sistem dalam jangka waktu tertentu. Dengan adanya analisis ini, dapat diketahui apakah penerapan PLTS memberikan keuntungan secara ekonomi dan berapa lama waktu yang diperlukan untuk menutup biaya investasi awal.

1. Analisis Estimasi Biaya Ekonomi

a. Belanja Investasi Permulaan (*Capital Expenditure*)

Belanja investasi permulaan atau Capital Expenditure (CapEx) merupakan biaya awal yang dikeluarkan untuk membangun sistem



PLTS. Biaya ini mencakup pembelian panel surya, Solar Charge Controller, inverter, baterai, timer, MCB, kabel, struktur penyangga, serta biaya instalasi dan pengujian awal sistem. Besarnya biaya investasi awal sangat dipengaruhi oleh kapasitas sistem, kualitas komponen yang digunakan, serta kompleksitas pemasangan di lapangan.

Tabel 2. Biaya Pengeluaran Investasi Awal (CapEx)

Nama Alat	Merek	Jumlah	Harga
Solar Panel 100 Wp	Maysun Solar	2	1.500.000
Baterai 12V 75 Ah	Amaron	1	2.100.000
Mcb 2 Phase	Hager	2	500.000
Mcb 1 Phase	Hager	1	200.000
Timer Tch 15A	Tch15A	2	300.000
Solar Charge Controller (SCC)	Pwm (Pulse Width Modulation)	1	300.000
Kabel 4 mm	-	45 Meter	900.000
Inverter	Sunpro	1	800.000
Konektor & Kabel Konektor	Suntree	2	500.000
Box	Swifbox	1	1.000.000
Lampu Led 30 Watt		2	600.000
Tiang Pju		2	700.000
Sewa Alat Las mesin las, gerenda, stick las, dll			700.000
Stop Kontak	Visalux	1	100.000
Dudukan Panel secara Pararel		1	400.000
Rumah Fuse & Fuse	Fuse 10-20 A	4	100.000
Material Bangunan, seperti pengukuran, dll			700.000
Biaya Pengoperasian Semua Alat			700.000
Total Semuanya			12.100.000

Biaya investasi awal ini bersifat satu kali pengeluaran dan menjadi dasar perhitungan dalam analisis kelayakan ekonomi sistem PLTS. Semakin efisien pemilihan komponen dan desain sistem, maka semakin kecil biaya investasi yang harus dikeluarkan.

b. Biaya Operasional dan Pemeliharaan (*Operational Expenditure/OpEx*)

Biaya operasional dan pemeliharaan (OpEx) merupakan biaya rutin yang dikeluarkan agar sistem PLTS dapat beroperasi secara optimal selama masa pakainya. Biaya ini mencakup aktivitas perawatan panel surya, pemeriksaan dan pemeliharaan komponen kelistrikan, serta biaya monitoring sistem secara berkala. Selain itu, biaya penggantian baterai juga termasuk dalam komponen OpEx, mengingat baterai memiliki umur pakai terbatas, umumnya antara 5 hingga 10 tahun tergantung pada pola penggunaan dan kedalaman pengosongan (*Depth of Discharge*).

Komponen utama yang termasuk dalam biaya operasional dan pemeliharaan antara lain:

- Biaya perawatan panel surya dan perangkat pendukung untuk menjaga efisiensi penyerapan energi.
- Biaya penggantian baterai secara berkala sesuai dengan umur teknis baterai.
- Biaya monitoring, pengecekan sistem, dan pengelolaan operasional selama masa penggunaan.

Tabel 3. Biaya Operasional dan Pemeliharaan PLTS

Komponen Biaya	Biaya/Tahun	Total 5 Tahun
Perawatan panel surya	$12 \times 100.000 = 1.200.000$	$1.200.000 \times 5 = 6.000.000$
Penggantian baterai (setiap 5 tahun)	-	2.500.000
Total OpEx	1.200.000	8.500.000

Perhitungan total biaya operasional biasanya dilakukan dalam periode tertentu, misalnya lima tahun, untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai total biaya yang dikeluarkan selama masa operasional sistem. Dengan membandingkan biaya investasi dan biaya operasional terhadap manfaat yang diperoleh, dapat ditentukan tingkat efisiensi serta kelayakan ekonomi penerapan PLTS pada sistem penerangan jalan umum.



5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis yang telah dilakukan, sistem Penerangan Jalan Umum (PJU) berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menunjukkan kinerja yang optimal pada kondisi intensitas cahaya matahari tinggi. Daya keluaran panel surya yang dihasilkan berada pada rentang sekitar 32,4 W hingga 193,32 W, dengan nilai tertinggi tercatat pada rentang waktu pukul 11.00–12.00, yaitu sekitar 184–193 W, yang menandakan posisi matahari sangat berpengaruh terhadap peningkatan tegangan dan arus. Sebaliknya, pada kondisi cuaca berawan hingga mendung, daya mengalami penurunan signifikan, bahkan hanya mencapai di bawah 12 W saat menjelang gelap. Hasil ini membuktikan bahwa performa PLTS sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Dari sisi ekonomi, analisis menunjukkan bahwa meskipun membutuhkan biaya investasi awal, sistem PLTS untuk PJU mampu memberikan keuntungan jangka panjang melalui penghematan konsumsi energi listrik serta rendahnya biaya operasional dan pemeliharaan, sehingga layak diterapkan sebagai solusi penerangan jalan yang efisien, mandiri, dan berkelanjutan, baik di wilayah perkotaan maupun daerah yang belum terjangkau jaringan listrik PLN.

Agar penerapan PJU berbasis panel surya dapat berjalan lebih optimal dan berkelanjutan, diperlukan perencanaan teknis yang matang, meliputi pemilihan komponen yang sesuai, penentuan kapasitas panel dan baterai berdasarkan kebutuhan, serta pemasangan yang memenuhi standar keselamatan. Pemerintah daerah dan pengelola proyek juga diharapkan dapat meningkatkan sosialisasi dan pelatihan bagi masyarakat atau teknisi setempat guna menjamin keberlangsungan operasional dan perawatan sistem. Selain itu, dukungan regulasi dan kebijakan terkait energi terbarukan perlu diperkuat, termasuk pemberian insentif untuk penerapan PJU tenaga surya dalam skala yang lebih luas, serta pengembangan riset dan inovasi guna meningkatkan efisiensi, ketahanan, dan keekonomian sistem di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Adhiem, S. H. Permana, dan B. M. Faturahman, *Pembangkit Listrik Tenaga Surya bagi Pembangunan Berkelanjutan*. Jakarta, Indonesia: Publica Indonesia Utama, 2021.
- [2] A. Bachtiar dan W. Hayattul, “Analisis potensi pembangkit listrik tenaga angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 7, no. 1, pp. 35–45, 2018.
- [3] L. Bahari, *Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)*. Indonesia, 2005.
- [4] C. Bazerman, *Bahasa Cahaya Edison*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1999.
- [5] A. E. Fitzgerald, C. Kingsley, dan S. D. Umans, *Electric Machinery*, 6th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2003.
- [6] A. R. Hambley, *Electrical Engineering: Principles and Applications*, 6th ed. Boston, MA, USA: Pearson, 2013.
- [7] M. A. Kastian, I. A. Ningrat, I. A. F. Usman, dan M. I. H. Rusnaedi, *Angin untuk Negeri: Kunci Pemeliharaan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. Indonesia.
- [8] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, *Inventarisasi Gas Rumah Kaca dan Monitoring, Pelaporan, serta Verifikasi (MPV) Tahun 2020*. Jakarta, Indonesia, 2020.
- [9] H. Santoso, *Pembangkit Energi Listrik*. Jakarta, Indonesia: RajaGrafindo Persada, 2019.
- [10] A. Suryana, Y. Yanti, N. Saribanon, dan M. I. Hasan, *Energi Alternatif dari Biomasa*. Indonesia, 2020.
- [11] H. Susiati, M. S. Bahari, M. D. Birmano, D. Priambodo, Y. D. Anggoro, A. C. Lesmana, dan A. Aryanto, *Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir di Indonesia: Upaya Berkelanjutan Menuju Net Zero Emission*. Malang, Indonesia: Unisma Press, 2023.
- [12] H. B. Tambunan, *Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Yogyakarta, Indonesia: Deepublish, 2021.
- [13] I. G. S. Widharma, I. M. A. Putra, I. K. A. H. Anggara, dan I. P. R. A. Pradana, “Distributed control system pada pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN),”



Sigma Teknika, Vol. 9 No. 128-139
Juni 2026
E-ISSN 2599-0616
P-ISSN 2614-5979

Makalah Akhir/Skripsi, Politeknik Negeri
Bali, 2021.