

Perancangan Penerangan Jalan Umum Menggunakan Sistem Panel Surya di Padukuhan Masahan, Kelurahan Trirenggo

Akmal Hasan Mulyadi¹, Divka Hanggita Putri¹, Dhevanda Ashar Evrast Avrizar², Daneswara Reiva Herdiansyah³, Agung Purnomo^{3*}

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tidar, Magelang, Indonesia

²Program Studi Ilmu Hukum, Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik, Universitas Tidar, Magelang, Indonesia

³Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar, Magelang, Indonesia

**Corresponding email: agungpurnomo@untidar.ac.id*

ABSTRAK

Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS) merupakan solusi strategis untuk meningkatkan keselamatan, kenyamanan, dan aktivitas masyarakat, khususnya di wilayah pedesaan yang belum sepenuhnya terlayani jaringan listrik PLN. Penelitian ini dilaksanakan di Padukuhan Masahan, Kelurahan Trirenggo, Bantul dengan tujuan merancang sistem PJUTS yang efisien, mandiri, dan ramah lingkungan. Metode penelitian menggabungkan pendekatan empiris melalui survei lapangan (kondisi jalan, kebutuhan penerangan, intensitas cahaya, serta jarak antar tiang) dan pendekatan kuantitatif berupa perhitungan kebutuhan energi, kapasitas panel surya, baterai, serta efikasi cahaya. Hasil analisis menunjukkan kebutuhan energi sebesar 720 Wh, dapat dipenuhi dengan panel surya berkapasitas 185 Wp, di mana satu unit panel 75 Wp mampu menghasilkan 225 Wh per hari. Implementasi lapangan berhasil merealisasikan tiga titik PJU dengan lampu LED efisiensi 150 lumen/Watt yang secara signifikan meningkatkan rasa aman warga pada malam hari. Studi ini menyimpulkan bahwa PJUTS efektif diterapkan sebagai model percontohan penerangan berbasis energi terbarukan di pedesaan, sekaligus mendukung program keberlanjutan dan pengurangan emisi karbon.

Kata kunci: desain penerangan, energi terbarukan, panel surya, Padukuhan Masahan, PJUTS

ABSTRACT

Solar-Powered Street Lighting (PJUTS) serves as a strategic solution to enhance safety, comfort, and community activities, particularly in rural areas with limited access to the national electricity grid. This study, conducted in Masahan Hamlet, Trirenggo Village, Bantul, aims to design an efficient, autonomous, and environmentally friendly PJUTS system. The methodology combines empirical field surveys (road conditions, lighting needs, light intensity, and pole spacing) with quantitative calculations of energy demand, solar panel capacity, battery storage, and light efficacy. The results indicate that the total energy demand of 720 Wh can be supplied by a 185 Wp solar panel system, where one 75 Wp module generates 225 Wh per day. Field implementation successfully installed three solar streetlights using LED lamps with 150 lumen/Watt efficiency, significantly improving community safety during nighttime. This study concludes that PJUTS can be effectively applied as a renewable energy-based lighting model for rural areas, while also supporting sustainability programs and reducing carbon emissions

Keywords: lighting design, Masahan Hamlet, renewable energy, solar panel, Street Lights

PENDAHULUAN

Penerangan Jalan Umum (PJU) merupakan salah satu infrastruktur penting dalam mendukung aktivitas masyarakat, khususnya pada malam hari. Keberadaan PJU tidak hanya berfungsi untuk menerangi jalan, tetapi juga meningkatkan aspek keselamatan, keamanan, serta kenyamanan pengguna jalan (Muhammad Dzulkifli et al., 2023). Dalam upaya memperkuat fungsi tersebut, pemerintah telah menetapkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 47 Tahun 2023 tentang Alat

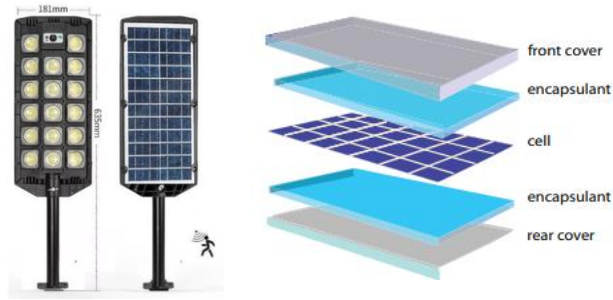
Penerangan Jalan, yang menjadi landasan hukum dalam perencanaan dan penyediaan PJU. Secara khusus, Pasal 2 menetapkan bahwa setiap alat penerangan jalan harus memenuhi standar teknis terkait keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan. Selanjutnya, Pasal 6 ayat (2) menekankan bahwa penyediaan alat penerangan jalan dapat menggunakan energi terbarukan, termasuk tenaga surya, sebagai bentuk efisiensi energi dan keberlanjutan lingkungan. Pasal 7 juga mengatur bahwa alat penerangan harus mampu beroperasi secara optimal sesuai dengan kondisi wilayah, termasuk daerah yang belum terjangkau jaringan listrik konvensional (Kementerian Perhubungan Republik Indonesia 2023).

Penerangan jalan umum merupakan salah satu elemen penting yang harus tersedia di setiap ruas jalan guna memberikan pencahayaan pada malam hari. Umumnya, lampu penerangan ini dipasang di sepanjang sisi jalan dengan sistem yang dikenal sebagai single central atau twin bracket. Penggunaan energi listrik untuk penerangan jalan umum mencakup berbagai area strategis seperti persimpangan jalan (intersection), simpang susun (interchange), jembatan layang (fly over), jembatan, hingga jalan bawah tanah seperti underpass atau terowongan (Bullough et al., 2020). Ilustrasi penerangan jalan ditunjukkan oleh gambar 1.



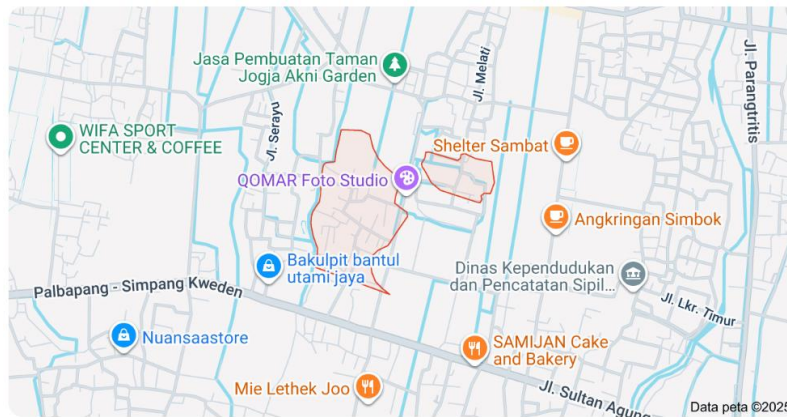
Gambar 1. Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (Pratama et al., 2023a)

Panel surya merupakan komponen utama dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang berfungsi mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Panel ini tersusun dari sejumlah sel silikon, atau yang dikenal sebagai solar cell photovoltaic (PV), yang akan menghasilkan arus listrik searah (DC) (Reza Pahlevi, 2014) saat terkena sinar matahari. Karakteristik kelistrikan dari panel surya umumnya digambarkan melalui hubungan antara arus dan tegangan yang dihasilkan. Energi listrik yang keluar dari panel berupa tegangan DC, sedangkan energi masuk berasal dari intensitas sinar matahari (dalam satuan W/m^2) (Sumbung & Letsoin, 2012) serta luas permukaan panel itu sendiri. Energi matahari terdiri dari kumpulan foton dengan berbagai tingkat energi. Perbedaan energi ini memengaruhi panjang gelombang dalam spektrum cahaya. Saat foton mengenai permukaan sel surya, sebagian akan dipantulkan, sebagian lagi diserap, dan sisanya menembus lapisan sel. Foton yang berhasil diserap inilah yang memicu terjadinya aliran listrik di dalam sel photovoltaic, sehingga menghasilkan energi listrik yang dapat dimanfaatkan (Al-Ezzi & Ansari, 2022). Gambar 2 menunjukkan komponen panel surya.



Gambar 2. Gambar Komponen Panel Surya (Harry Prabowo et al., 2024; Wiesmeier et al., 2013)

Padukuhan Masahan, yang terletak di Kelurahan Trirenggo, merupakan salah satu wilayah yang memiliki keterbatasan dalam hal penerangan jalan contohnya seperti jarak antar PJU yang jauh sehingga menyebabkan titik yang gelap. Minimnya PJU di wilayah tersebut berdampak pada aktivitas sosial masyarakat, terutama saat malam hari, dan berpotensi menimbulkan risiko kecelakaan lalu lintas maupun gangguan keamanan. Oleh karena itu, diperlukan solusi yang tidak hanya efektif dan efisien, tetapi juga berkelanjutan dalam jangka panjang. Peta dusun Masahan ditunjukkan oleh gambar 3.



Gambar 3. Peta Dusun Masahan, Trirenggo, Bantul (Sumber: google maps)

Pemanfaatan energi terbarukan, khususnya energi surya, menjadi alternatif solusi yang potensial untuk mengatasi permasalahan tersebut. Sistem PJU berbasis panel surya dapat beroperasi secara mandiri tanpa bergantung pada jaringan listrik PLN, sehingga cocok diterapkan di daerah dengan keterbatasan infrastruktur listrik. Selain itu, sistem ini juga mendukung upaya global dalam pengurangan emisi karbon dan penggunaan energi ramah lingkungan, sejalan dengan prinsip pembangunan berkelanjutan yang juga ditekankan dalam regulasi nasional, termasuk Permenhub tersebut.

Penelitian sebelumnya oleh (Pandyaswargo et al., 2024) menunjukkan bahwa perencanaan panel surya (PV) di wilayah pedesaan, mampu menghasilkan solusi yang kontekstual dan aplikatif terhadap kondisi sosial-ekonomi lokal. Sistem solar home system (SHS) menjadi menyediakan akses energi dasar di wilayah pedesaan, karena sifatnya yang portabel, berbiaya rendah, dan mudah diimplementasikan (Scott-George et al., 2021). Instalasi PLTS sederhana berdaya rendah (12 W) menjadi solusi praktis dan terjangkau untuk penerangan jalan di daerah pedesaan dengan manfaat langsung terhadap peningkatan aktivitas malam dan kesadaran masyarakat akan energi terbarukan (Yadi et al., 2022). Kelayakan teknis dan ekonomi dari sistem penerangan jalan umum tenaga surya menunjukkan bahwa sistem tersebut telah memenuhi standar teknis nasional dan mampu menyediakan penerangan selama 12 jam per hari bahkan dalam cuaca mendung. (Ruba Sampe Padang & Mulyadi, 2023). Sistem lampu jalan mandiri berbasis PV dapat beroperasi secara efisien tanpa koneksi ke jaringan listrik, dengan performa pencahayaan yang stabil dan konsumsi energi yang rendah dalam konteks urban (Orejon-Sanchez et al., 2021). Sistem PJU tenaga surya di wilayah

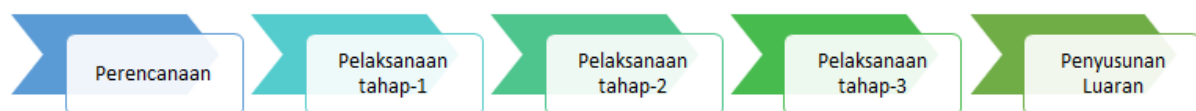
pedesaan mampu menyediakan pencahayaan hingga 10 jam per malam serta mengurangi emisi karbon sebesar 4.417 kg per tahun, menjadikannya solusi yang efektif dan ramah lingkungan untuk daerah dengan keterbatasan infrastruktur listrik (Pratama et al., 2023b). Model peningkatan standar implementasi PJU tenaga surya sudah mempertimbangkan faktor teknis seperti jarak antar tiang, efisiensi pencahayaan, serta analisis benefit-cost untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis data. (Sutopo et al., 2020)

Namun, beberapa kendala yang ditemui adalah durasi penerangan yang menunjukkan perlunya pengembangan sistem dengan kapasitas yang lebih besar agar dapat memenuhi kebutuhan penerangan yang lebih luas dan berkelanjutan. Efektivitas sistem sangat dipengaruhi oleh tingkat bayangan di lokasi pemasangan, sehingga diperlukan perencanaan teknis yang cermat dalam pemilihan dan orientasi panel surya. Studi masih terbatas pada pendekatan simulasi dan belum disertai dengan uji lapangan yang dapat memvalidasi efektivitas model dalam kondisi nyata. Penelitian hasil analisis ekonomi menunjukkan bahwa dengan skema investasi saat ini, PJU PV belum layak secara finansial. Selain itu, keterbatasan studi ini terletak pada skala proyek yang masih pilot dan lokasi yang spesifik.

Sejalan dengan studi-studi tersebut dan gap analisis tersebut, program ini berupaya merancang sistem PJU berbasis panel surya di Padukuhan Masahan dengan mempertimbangkan kondisi lokal, kebutuhan penerangan, dan ketersediaan energi surya berdasarkan potensi radiasi matahari harian. Program ini dilakukan melalui analisis kebutuhan penerangan, pengukuran intensitas cahaya (lux), penentuan jumlah dan jarak antar tiang lampu, serta perhitungan kebutuhan daya dan kapasitas panel surya yang dibutuhkan. Diharapkan, hasil dari perencanaan ini dapat menjadi rujukan untuk implementasi sistem PJU mandiri berbasis energi terbarukan di wilayah serupa

METODE PELAKSANAAN

Program ini menggunakan metode campuran yang menggabungkan pendekatan empiris dan kuantitatif dalam merancang sistem penerangan jalan umum berbasis panel surya di Padukuhan Masahan (Kabunda, 2023). Pendekatan empiris dilakukan melalui studi lapangan yang mencakup observasi langsung untuk mengidentifikasi kebutuhan pencahayaan masyarakat, kondisi infrastruktur, serta analisis lingkungan fisik seperti jarak antar tiang, tinggi tiang, dan potensi hambatan berupa pepohonan atau bangunan di sekitar lokasi pemasangan. Sementara itu, pendekatan kuantitatif diterapkan melalui pengukuran intensitas cahaya (lux), potensi radiasi matahari, serta parameter teknis lainnya yang mendukung perhitungan efisiensi sistem. Kombinasi kedua pendekatan ini memberikan dasar perencanaan yang akurat dan sesuai dengan karakteristik wilayah, sehingga sistem penerangan yang dirancang dapat diimplementasikan secara optimal, efisien, dan berkelanjutan. Secara keseluruhan, kegiatan dilaksanakan berdasarkan timeline kegiatan yang ditunjukkan oleh gambar 4.



Gambar 4. Step Pelaksanaan Program

Kegiatan pengabdian ini dimulai dengan tahap perencanaan yang dilaksanakan pada minggu pertama. Tim melakukan survei untuk mengidentifikasi titik-titik jalan yang masih minim penerangan, khususnya di lingkungan RT 3. Hasil survei ini kemudian analisis secara matematis dan dipaparkan kepada kepala dusun sebagai bentuk sosialisasi awal dan penjajakan kerja sama. Selanjutnya, tim juga menyampaikan rencana kerja pemasangan panel surya kepada warga RT 3 guna membangun pemahaman dan dukungan dari masyarakat. Diskusi lanjutan dilakukan untuk membahas potensi titik-titik pemasangan panel surya di padukuhan dan memastikan keterlibatan aktif dari pihak pemangku kepentingan.

Memasuki minggu kedua, kegiatan berlanjut pada tahap pelaksanaan tahap-1. Tim mahasiswa memaparkan kembali rencana pemasangan kepada warga dan menyusun rancangan anggaran biaya

(RAB) yang disesuaikan dengan kebutuhan lapangan. Pemesanan alat dan bahan panel surya dilakukan melalui platform e-commerce untuk efisiensi pengadaan. Selain itu, tim mulai mengumpulkan bahan dan membuat prototipe panel surya sebagai bagian dari persiapan teknis. Diskusi teknis bersama ketua pemuda juga dilakukan untuk menentukan letak strategis pemasangan panel serta membangun kerja sama dalam pelaksanaan kegiatan.

Tahap pelaksanaan-2 dimulai pada minggu ketiga dengan melakukan pengukuran lebar, panjang, dan luas jalan pada RT 3 dan RT 4 sebagai dasar instalasi. Tim melakukan analisis data untuk mengetahui tingkat kebutuhan penerangan pada malam hari. Berdasarkan data tersebut, ditentukan titik lokasi pemasangan yang paling prioritas. Selanjutnya dilakukan pemantapan titik dan uji coba prototipe panel surya. Tim merakit panel surya secara mandiri dengan bimbingan dosen pembimbing dan tokoh masyarakat, sekaligus menyelenggarakan kegiatan edukatif berupa sosialisasi fungsi, manfaat, dan cara perawatan sistem penerangan berbasis tenaga surya.

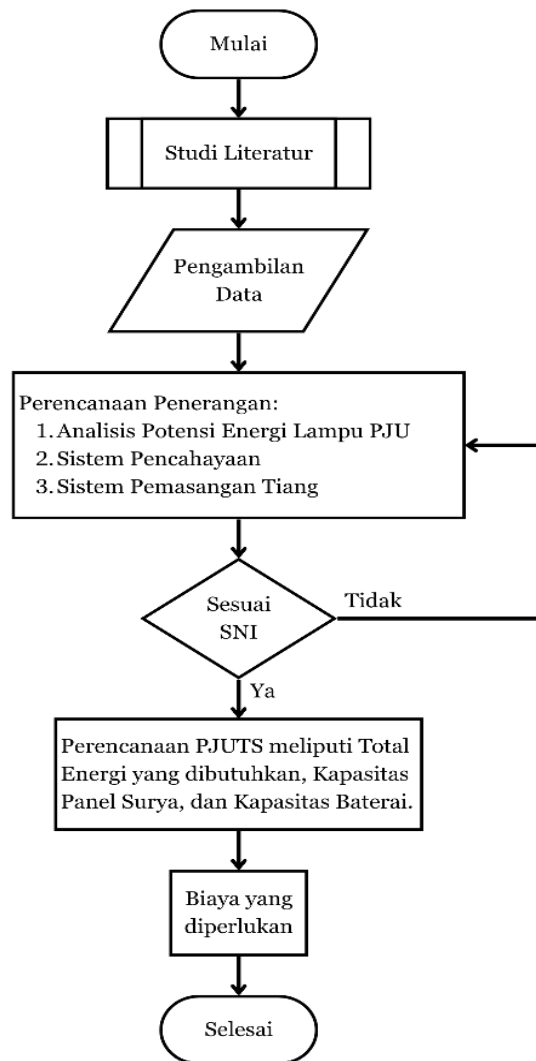
Pada minggu keempat, pelaksanaan tahap-3, dilakukan instalasi panel surya bersama warga. Sebagai tindak lanjut, penyusunan dokumentasi dan luaran ilmiah dilakukan secara paralel dalam tahap penyelesaian kegiatan. Tim menyusun artikel pengabdian masyarakat dan media publikasi lain yang bertujuan untuk mendiseminasikan praktik baik ini kepada khalayak yang lebih luas. Luaran ini mencerminkan hasil dari sinergi antara akademisi, masyarakat, dan pemerintah desa dalam mengatasi permasalahan penerangan jalan dengan solusi berbasis energi terbarukan. Selain menjadi bentuk pertanggungjawaban akademik, artikel ini juga menjadi kontribusi nyata dalam mengembangkan inovasi lokal yang berkelanjutan.

HASIL PEMBAHASAN

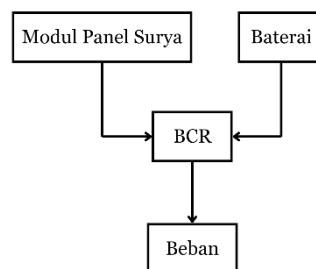
Dalam perencanaan perancangan PJU di Padukuhan Masahan dibangun flowchart yang bertujuan untuk memudahkan dalam proses perancangan PJUTS. Flowchart kegiatan ditunjukkan oleh gambar 5. Langkah pertama adalah melakukan studi literatur dalam rangka mengumpulkan berbagai referensi, penelitian terdahulu, dan standar teknis terkait PJU untuk memperoleh gambaran dasar dan acuan yang valid. Setelah itu, masuk ke tahap pengumpulan data lapangan, seperti kondisi jalan, kebutuhan pencahayaan, serta potensi sumber energi (listrik PLN atau energi terbarukan seperti PLTS). Data yang terkumpul kemudian diproses dalam tahap analisis perencanaan, di mana dilakukan pemilihan spesifikasi lampu, tiang, serta sistem kelistrikan yang sesuai dengan kebutuhan dan standar keselamatan. Dari analisis tersebut dihasilkan desain teknis yang kemudian digunakan untuk melakukan estimasi biaya, yaitu menghitung total kebutuhan anggaran mulai dari pengadaan material, instalasi, hingga pemeliharaan awal. perencanaan hingga estimasi biaya telah selesai.

Sistem Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS) memanfaatkan energi dari sinar matahari. Blok diagram penjas keterkaitan energi matahari ditunjukkan oleh gambar 6 yang menunjukkan bahwa energi matahari diserap oleh panel surya dan diubah menjadi energi listrik. Listrik yang dihasilkan berupa arus searah (DC), kemudian disalurkan ke baterai melalui Battery Control Regulator (BCR). BCR berfungsi sebagai pengatur utama dalam proses distribusi energi. Pada malam hari, energi yang tersimpan di dalam baterai akan dialirkan ke lampu melalui BCR. Sistem ini dirancang untuk beroperasi diharapkan selama 12 jam setiap harinya. Agar lampu dapat menyala secara otomatis, digunakan sensor cahaya berupa Light Dependent Resistor (LDR).

Pada kegiatan ini, diambil data dari jalan-jalan di Padukuhan Masahan yang memiliki panjang 990 meter dengan lebar jalan 4 meter. Penerangan jalan di jalan-jalan di Padukuhan Masahan masih menggunakan sumber energi listrik yang didistribusikan oleh PLN atau penerangan jalan secara konvensional, tetapi terdapat titik-titik dimana tidak terdapat lampu penerangan jalan walau titik tersebut menurut analisa memerlukan penerangan jalan demi kenyamanan pengguna jalan. Dengan data yang dibutuhkan merupakan data yang diambil dari hasil survey lapangan. Data yang dibutuhkan adalah kondisi jalan, panjang jalan, dan lebar jalan perkerasan. Data-data tersebut kemudian diolah menggunakan persamaan untuk perencanaan penerangan jalan umum menggunakan tenaga surya.



Gambar 5. Flowchart Diagram Perencanaan PJUTS



Gambar 6. Blok Diagram PJUTS

Untuk merancang sistem Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS) secara optimal, diperlukan sejumlah perhitungan dan analisis teknis yang mencakup berbagai aspek, antara lain: fluks cahaya, intensitas pencahayaan, tinggi dan jarak antar tiang, kebutuhan energi total, kapasitas panel surya dan baterai, serta kapasitas BCR. Selain itu, juga dilakukan estimasi biaya yang dibutuhkan untuk instalasi sistem secara keseluruhan. Jalan yang digunakan sebagai studi kasus dalam penelitian ini adalah jalan-jalan di Padukuhan Masahan, Kelurahan Trirenggo, Kabupaten Bantul. Kondisi penerangan pada malam hari di beberapa titik di jalan-jalan Padukuhan Masahan dianggap tidak terlalu baik karena tidak adanya penerangan lampu di titik-titik tersebut. Pengambilan sampel lokasi ditunjukkan oleh gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Jalan dengan titik kurang penerangan di siang hari



Gambar 8. Jalan dengan titik kurang penerangan di malam hari

Menurut hasil dari pengamatan terkait panjang tiang dan jarak antar lampu dengan tiang yang tercantum pada SNI 7391 dan Permen PUPR no. 27 tentang Pedoman Teknik Penerangan Jalan Umum adalah tinggi tiang mencapai 5 meter dan jarak antara lampu dengan tiang (panjang stang ornament) 70 cm atau $\frac{1}{4} \times$ Tinggi Tiang, maka parameter-parameter dari spesifikasi tiang tersebut dapat digunakan untuk menghitung kemiringan stang ornament. Perhitungan stang ornament ditunjukkan oleh persamaan 1 hingga 7.

$$\begin{aligned} t &= \sqrt{h^2 + c^2} \\ t &= \sqrt{5^2 + 0,7^2} \\ t &= 5,048 \end{aligned} \quad (1)$$

Setelah diperoleh nilai t, langkah selanjutnya untuk menentukan sudut kemiringan stang ornamen dilakukan dengan menggunakan rumus tertentu.

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \frac{h}{t} \\ \cos \theta &= \frac{5}{5,048} \\ \theta &= \cos^{-1} \frac{5}{5,048} \\ \theta &= 7,65^\circ \end{aligned} \quad (2)$$

Perhitungan intensitas cahaya merupakan salah satu komponen penting dalam desain sistem penerangan jalan, karena menentukan seberapa terang cahaya yang dihasilkan oleh lampu. Intensitas

ini biasanya dinyatakan dalam satuan candela (cd) dan dihitung berdasarkan total fluks cahaya dari lampu serta distribusinya. Dalam kasus ini, digunakan lampu LED dengan keluaran cahaya sebesar 3000 lumen, dan intensitas cahayanya yang dihitung dalam Candela (cd) dengan lumen lampu LED sebesar 3000 lumen ditunjukkan oleh persamaan 8 hingga 11.

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad (3)$$

$$I = \frac{3000}{4\pi}$$

$$I = 238,73 \text{ cd}$$

Setelah diketahui nilai intensitas cahaya yang dihasilkan oleh lampu, langkah selanjutnya adalah menghitung intensitas penerangan rata-rata pada permukaan jalan. Perhitungan ini bertujuan untuk memastikan bahwa tingkat pencahayaan memenuhi standar kenyamanan dan keselamatan bagi pengguna jalan pada malam hari. Intensitas penerangan rata-rata dihitung dengan mempertimbangkan fluks cahaya dari lampu, efisiensi sistem, faktor pemeliharaan, serta luas area yang diterangi. Nilai-nilai tersebut kemudian dimasukkan ke dalam rumus standar untuk memperoleh hasil pencahayaan dalam satuan lux. Untuk menghitung intensitas penerangan rata-rata menggunakan persamaan 11.

$$E_{\text{rata-rata}} = \frac{\Phi \cdot \eta \cdot MF}{W \cdot S} \quad (4)$$

Untuk nilai $\eta = 0,35$ (SNI) dan untuk nilai $MF = 0,7-0,9$ (SNI) diambil nilai tengah untuk nilai MF yaitu 0,8 maka didapat energi rata-rata seperti pada persamaan 12 hingga 14.

$$E_{\text{rata-rata}} = \frac{\Phi \cdot \eta \cdot MF}{W \cdot S} \quad (5)$$

$$E_{\text{rata-rata}} = \frac{3000 \cdot 0,35 \cdot 0,8}{5,25}$$

$$E_{\text{rata-rata}} = 6,72 \text{ lux}$$

Setelah diperoleh nilai intensitas penerangan, tahap berikutnya adalah menghitung luminansi, yaitu tingkat kecerahan permukaan yang terlihat oleh mata manusia. Luminansi merupakan parameter penting dalam sistem penerangan jalan karena berkaitan langsung dengan kenyamanan visual dan persepsi pengguna jalan terhadap lingkungan sekitarnya. Besarnya luminansi dipengaruhi oleh intensitas cahaya dan sudut datang cahaya terhadap bidang pantul. Untuk itu, digunakan persamaan dasar luminansi yang melibatkan komponen sudut pencahayaan dan intensitas cahaya dari lampu LED. Untuk menghitung besarnya luminasi (L) pada lampu LED maka digunakan persamaan 15.

$$L = \frac{I}{As} \quad (6)$$

Dengan $As = A \cos \theta$ maka untuk mendapatkan besarnya luminasi (L) pada lampu LED seperti pada persamaan 16 hingga 18.

$$L = \frac{I}{A \cos \theta} \quad (7)$$

$$L = \frac{238,73}{12^\circ}$$

$$L = 1,95$$

Sehingga didapat untuk besarnya luminasi pada tiap-tiap lampu LED yang terpasang yaitu sebesar 1,95 (cd/m²).

Selain luminansi dan intensitas pencahayaan, efikasi cahaya juga menjadi salah satu parameter penting dalam menilai efisiensi sistem penerangan jalan. Efikasi menunjukkan seberapa efektif sebuah lampu dalam mengubah energi listrik menjadi cahaya, yang dinyatakan dalam satuan lumen per watt (lm/W). Nilai efikasi yang tinggi menandakan bahwa lampu mampu menghasilkan cahaya yang lebih terang dengan konsumsi daya yang lebih rendah. Oleh karena itu, untuk

mengetahui tingkat efisiensi lampu LED yang digunakan, dilakukan perhitungan efikasi berdasarkan fluks cahaya dan daya listrik yang telah ditentukan sebelumnya. Efikasi cahaya dengan satuan lumen/watt pada perancangan penerangan jalan umum ini dapat dihitung menggunakan persamaan 19.

$$K = \frac{\Phi}{P} \quad (8)$$

Dengan parameter yang sudah didapat dari perhitungan sebelumnya yaitu fluks cahaya $\Phi = 3000$ Lumen dan daya lampu LED yang digunakan sebesar 24 Watt maka nilai efikasi ditunjukkan oleh persamaan 20 hingga 22.

$$\begin{aligned} K &= \frac{\Phi}{P} \\ K &= \frac{3000}{20} \\ K &= 150 \text{ lumen/watt} \end{aligned} \quad (9)$$

Berdasarkan persamaan 21, nilai efikasi cahaya yang didapat pada lampu LED yang terpasang pada masing masing tiang penerangan jalan yaitu sebesar 150 Lumen/watt.

Untuk memastikan distribusi cahaya yang merata dan sesuai kebutuhan di sepanjang ruas jalan, diperlukan perhitungan jumlah titik lampu yang ideal. Penentuan titik penerangan ini didasarkan pada panjang lintasan jalan serta jarak antar tiang yang telah dirancang sebelumnya. Dengan mengetahui kedua parameter tersebut, dapat dihitung jumlah total titik lampu yang seharusnya dipasang. Namun, dalam konteks perencanaan di Padukuhan Masahan, pemasangan lampu difokuskan hanya pada titik-titik yang prioritas atau belum memiliki penerangan, sehingga jumlah pemasangan disesuaikan dengan kondisi aktual di lapangan. Menentukan jumlah titik lampu yang diperlukan pada penerangan jalan umum tenaga surya di Padukuhan masahan menggunakan persamaan 23.

$$T = \frac{L}{S} + 1 \quad (10)$$

Jalan di Padukuhan Masahan, Kelurahan Trirenggo, Kabupaten Bantul dengan panjang lintasan jalan 1.320 m atau 1,3 km serta jarak antar tiang yang sudah dihitung sebesar 30 m maka perhitungan jumlah titik ditunjukkan oleh persamaan 24 hingga 25.

$$\begin{aligned} T &= \frac{L}{S} + 1 \\ T &= \frac{1,320}{30} + 1 \\ T &= 45 \text{ titik} \end{aligned} \quad (11)$$

Namun, karena hanya ada 3 titik saja yang membutuhkan penerangan, maka hanya dilakukan pemasangan di 3 titik saja.

Langkah awal dalam merancang sistem Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS) adalah menghitung total kebutuhan energi yang harus disuplai oleh panel surya. Perhitungan ini mengacu pada daya yang digunakan oleh beban, dalam hal ini lampu LED, serta durasi operasionalnya. Meskipun lampu dirancang menyala selama 12 jam per hari, ketentuan dari Dinas Perhubungan mengharuskan adanya cadangan energi selama 3 hari sebagai langkah antisipatif. Oleh karena itu, perhitungan kebutuhan energi dilakukan untuk mencakup total 36 jam pemakaian. Pada instalasi ini besar daya yang digunakan adalah sebesar 20 W. Beban yang dimaksud merupakan beban lampu yang normalnya digunakan 12 jam sehari, namun sebagai antisipasi sesuai dengan peraturan dinas perhubungan bahwa back up energi tenaga surya yaitu selama 3 hari artinya untuk 36 jam pemakaian maka kebutuhan energinya ditunjukkan oleh persamaan 27 hingga 29.

$$\begin{aligned} E_T &= E_T \times E_T \\ E_T &= 20 \times 36 \text{ jam} \\ E_T &= 720 \text{ Watt} \end{aligned} \quad (12)$$

Setelah kebutuhan energi total diketahui, tahap selanjutnya adalah menghitung kapasitas panel surya yang diperlukan untuk menyuplai energi tersebut secara optimal. Perhitungan ini didasarkan pada data insolasi matahari, yaitu jumlah energi matahari yang diterima per meter persegi per hari. Untuk menjaga keandalan sistem, digunakan nilai terendah dari rata-rata insolasi harian sebagai acuan, serta ditambahkan faktor keamanan. Selanjutnya, kapasitas panel surya dihitung untuk memastikan bahwa energi yang dihasilkan cukup, bahkan dalam kondisi pencahayaan minimum. Selain itu, juga ditentukan jumlah modul surya yang dibutuhkan berdasarkan kemampuan masing-masing panel dalam menghasilkan energi harian. Penentuan kapasitas daya panel surya diambil berdasarkan harga terendah insolasi matahari. Berdasarkan data insolasi matahari didapat harga terendah insolasi matahari yaitu 4,28 kWh/m²/day. Perhitungan kapasitas panel surya ditunjukkan oleh persamaan 30 hingga 32.

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Panel} &= \frac{ET}{\text{insolasi}} \times 1,1 \\ \text{Kapasitas Panel} &= \frac{720}{4,28} \times 1,1 \\ \text{Kapasitas total panel} &= 185 \text{ Wp} \end{aligned} \quad (13)$$

Modul surya yang akan digunakan yaitu modul surya dengan kapasitas 75 Wp. Dengan asumsi penyinaran matahari selama 3 jam maka energi yang dihasilkan panel surya ditunjukkan oleh persamaan 33 hingga 35.

$$\begin{aligned} E_{\text{modul}} &= P_{\text{modul}} \times \text{faktor pengali} \\ E_{\text{modul}} &= 75 \text{ Wp} \times 3 \text{ h} \\ E_{\text{modul}} &= 225 \text{ Wh} \end{aligned} \quad (14)$$

Dengan kapasitas modul 75 Wp dan lama penyinaran 3 jam maka dihasilkan energi sebesar 225 Wh. Jumlah panel surya yang dibutuhkan pada satu tiang penerangan ditunjukkan oleh persamaan 36 hingga 38.

$$\begin{aligned} \Sigma \text{ modul} &= \frac{E_T}{E_{\text{modul}}} \\ \Sigma \text{ modul} &= \frac{185}{225} \\ \Sigma \text{ modul} &= 0,82 \approx 1 \text{ unit} \end{aligned} \quad (15)$$

Setelah proses perancangan secara analitis dilakukan, step berikutnya adalah perhitungan biaya realisasi. Biaya yang diperlukan ditunjukkan oleh tabel 1.

Tabel 1. Perencanaan Biaya

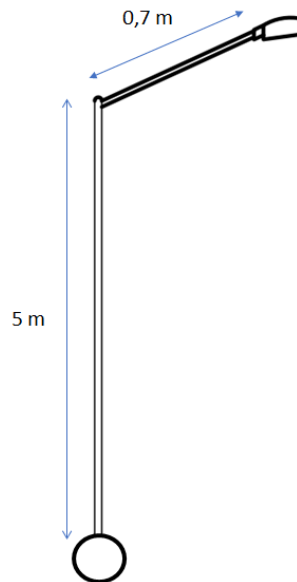
Jenis Material	Banyak	Harga Satuan	Total
Tiang + Stang Ornament	3	31.000	62.000
Panel Surya + Lampu	3	175.000	525.000
Biaya Pemasangan	3	75.000	225.000
Biaya Investasi per Titik			810.000

Untuk mengetahui total biaya investasi penerangan jalan umum maka jumlah titik dikalikan dengan biaya per titik. Biaya total pemasangan ditunjukkan oleh persamaan 39 hingga 41.

$$\begin{aligned} \text{Biaya total} &= T \cdot \text{Biaya per titik} \\ \text{Biaya total} &= 3 \cdot \text{Rp } 270,000, - \\ \text{Biaya total} &= \text{Rp } 810,000, - \end{aligned} \quad (16)$$

Maka biaya total yang harus dikeluarkan untuk penerangan jalan umum tenaga surya ini sebesar Rp 810.000.

Setelah proses estimasi biaya, proses berikutnya Adalah desain dari tiang PJU. Gambar desain tiang PJU beserta panel surya ditunjukkan oleh gambar 9. Gambar 9 menjadi acuan untuk sosialisasi dan pembuatan rangka tiang.



Gambar 9. Desain tiang PJU

Dengan analisis data terkait kelayakan dan desain PJU yang komprehensif, tim melakukan sosialisasi terhadap pemuda dusun Masahan. Hal ini bertujuan agar kegiatan ini melibatkan partisipasi masyarakat secara penuh. Kegiatan sosialisasi pemasangan panel surya ditunjukkan oleh gambar 10. Setelah proses sosialisasi, tim dan masyarakat bersama-sama menyiapkan bahan dan merangkai bersama. Proses penyambungan tiang dengan metode las.



Gambar 10. Sosialisasi Panel Surya

Perencanaan dan pemasangan Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS), berhasil memberikan dampak langsung terhadap kenyamanan dan keamanan warga. Hal ini terlihat dari antusias masyarakat dalam proses instalasi. Proses instalasi ditunjukkan oleh gambar 11. Titik-titik

jalan yang sebelumnya gelap dan sepi menjadi lebih terang, khususnya pada malam hari. Pemasangan lampu PJUTS di tiga titik strategis RT 03 dan RT 04 dilakukan berdasarkan hasil survei lokasi serta diskusi dengan warga. Teknologi panel surya menunjukkan hemat energi, ramah lingkungan, dan tidak membebani tagihan listrik warga. Dalam proses evaluasi, warga menyampaikan bahwa keberadaan PJUTS telah meningkatkan rasa aman saat beraktivitas malam, serta mendukung kegiatan ronda malam dan mobilitas kegiatan masyarakat seperti kegiatan malam ibu-ibu pengajian atau kegiatan sosial lainnya.



Gambar 11. Pemasangan Instalasi PJU

Hasil kegiatan ini juga mendukung temuan dari (Abdullah et al., 2024) yang menekankan bahwa desain teknis dan keterlibatan masyarakat menjadi faktor kunci dalam keberhasilan sistem penerangan jalan tenaga surya di berbagai komunitas pedesaan. Studi (Rabaza et al., 2025) memberikan model optimasi yang mempertimbangkan lebar jalan, luminansi, dan potensi radiasi matahari yang sejalan dengan pendekatan teknis dalam kajian ini. Studi ini sejalan dengan temuan (Nixon et al., 2021) yang menekankan pentingnya kesesuaian antara desain teknis dan kondisi lapangan dalam implementasi sistem PJUTS, terutama pada wilayah dengan keterbatasan infrastruktur seperti Padukuhan Masahan. Selain itu, perencanaan sistem berbasis efisiensi dan biaya pada penelitian ini juga diperkuat oleh (Duman & Güler, 2019), yang menunjukkan bahwa sistem penerangan jalan LED berbasis PV off grid dapat memiliki nilai keekonomian yang kompetitif jika dirancang secara tepat. Akhirnya, analisis (Carabajal et al., 2024) menegaskan bahwa sistem off-grid tenaga surya mampu meningkatkan aspek keselamatan, ekonomi, dan sosial di komunitas pedesaan dan menunjukkan bahwa penerapan PJU tenaga surya bukan hanya aspek teknis tetapi juga dapat berdampak sosial-ekonomi yang luas.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil program yang dilakukan di Padukuhan Masahan, dapat disimpulkan bahwa sistem Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS) mampu menjadi solusi yang efisien, mandiri, dan ramah lingkungan dalam mengatasi keterbatasan akses listrik di wilayah pedesaan. Pemanfaatan energi surya sebagai sumber utama penerangan terbukti tidak hanya mengurangi ketergantungan terhadap jaringan listrik PLN, tetapi juga menekan biaya operasional secara signifikan. Hal ini menjadikan PJUTS sebagai alternatif yang relevan untuk diterapkan di wilayah-wilayah dengan tantangan serupa, baik dari sisi geografis maupun ekonomi. Perencanaan sistem PJUTS ini didasarkan pada kombinasi pendekatan empiris dan kuantitatif yang saling melengkapi. Kapasitas energi yang dibutuhkan pada sistem ini sebesar 720 Wh, dengan dukungan panel surya berkapasitas 185 Wp yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan operasional selama tiga hari tanpa sinar matahari. Penentuan

jumlah dan spesifikasi panel didasarkan pada data insolasi harian terendah, sehingga sistem tetap dapat berjalan meskipun dalam kondisi pencahayaan minimum. Satu unit panel 75 Wp dengan durasi penyinaran tiga jam per hari mampu menghasilkan 225 Wh, sehingga cukup efisien dengan hanya membutuhkan satu unit panel per titik penerangan. Selain itu, efisiensi sistem juga didukung oleh penggunaan lampu LED berdaya rendah dan efikasi tinggi. Dari sisi implementasi, meskipun perhitungan menunjukkan kebutuhan sebanyak 45 titik lampu sepanjang lintasan 1.320 meter.

Sebagai tindak lanjut, disarankan agar perancangan PJUTS ini dijadikan sebagai dasar pemerintah daerah maupun pihak swasta dapat menjadikan hasil penelitian ini sebagai rujukan teknis dan kebijakan untuk pengembangan infrastruktur penerangan berbasis energi terbarukan. Selain itu, perlu dilakukan evaluasi berkala terhadap performa sistem yang telah terpasang, termasuk perawatan panel dan baterai, agar keberlanjutan sistem tetap terjaga dalam jangka panjang. Upaya edukasi masyarakat mengenai pentingnya peran energi surya dalam pembangunan desa berkelanjutan juga sangat direkomendasikan sebagai bagian dari strategi pemberdayaan lokal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada LPPM Universitas Tidar atas kesempatan dan dukungan yang telah diberikan dalam pelaksanaan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN), sehingga penelitian dan perancangan sistem Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya ini dapat terlaksana dengan baik. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh warga Padukuhan Masahan, Kelurahan Tirirenggo, yang telah menerima, mendukung, dan turut berpartisipasi aktif selama proses observasi dan implementasi berlangsung. Dukungan dari semua pihak telah memberikan kontribusi yang sangat berarti dalam keberhasilan kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A. Z., Azizan, N., & Bohari, Z. (2024). Implementation of solar street lighting for empowering rural communities. *BIO Web of Conferences*, 137, 03001. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202413703001>
- Al-Ezzi, A. S., & Ansari, M. N. M. (2022). Photovoltaic solar cells: A review. *Applied System Innovation*, 5(4), 67. <https://doi.org/10.3390/asi5040067>
- Bullough, J. D., Rea, M. S., & Skinner, N. P. (2020). *Safety benefits and best practices for intersection lighting* (Report No. 20-R31). Virginia Transportation Research Council. <https://vtrc.virginia.gov/media/vtrc-pdf/vtrc-pdf/20-R31.pdf>
- Carabajal, A. T., Orsot, A., Moudio, M. P. E., Haggai, T., Okonkwo, C. J., Jarrard, G. T., III, & Selby, N. S. (2024). Social and economic impact analysis of solar mini-grids in rural Africa: A cohort study from Kenya and Nigeria. *Environmental Research: Infrastructure and Sustainability*, 4(2), 025005. <https://doi.org/10.1088/2634-4505/ad4ffb>
- Duman, A. C., & Güler, Ö. (2019). Techno-economic analysis of off-grid photovoltaic LED road lighting systems: A case study for northern, central and southern regions of Turkey. *Building and Environment*, 156, 89–98. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.04.005>
- Prabowo, H., S., A., & Sunanda, W. (2024). Pemasangan penerangan jalan umum (PJU) berbasis sel surya di Dusun Sanggrahan, Desa Muntuk, Kecamatan Dlingo, Kabupaten Bantul. *Jurnal Riset Daerah*, 23(2). <https://doi.org/10.64730/jrdbantul.v23i2.99>
- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2023). *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 47 Tahun 2023 tentang alat penerangan jalan*. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/283747/permenhub-no-47-tahun-2023>
- Kabunda, K. (2023). *Factors affecting the performance of solar street lights on selected streets of Lusaka* (Master's thesis, University of Zambia). <https://dspace.unza.zm/server/api/core/bitstreams/487e35ab-1913-42b9-9cc4-4a52f219a028/content>
- Dzulkifli, M., Aullia, V., & Abdurrahim. (2023). Perencanaan instalasi penerangan jalan umum (PJU) Jalan Tani Subur Kec. Loa Janan Ilir Samarinda. *PoliGrid*, 4(2). <https://doi.org/10.46964/poligrid.v4i2.17>

- Nixon, J. D., Bhargava, K., Halford, A., & Gaura, E. (2021). Analysis of standalone solar streetlights for improved energy access in displaced settlements. *Renewable Energy*, 177, 895–914. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.05.105>
- Orejon-Sanchez, R. D., Andres-Diaz, J. R., & Gago-Calderon, A. (2021). Autonomous photovoltaic LED urban street lighting: Technical, economic, and social viability analysis based on a case study. *Sustainability*, 13(21), 11746. <https://doi.org/10.3390/su132111746>
- Pandiyaswargo, A. H., Wibowo, A. D., Sunarti, S., Risnawati, & Onoda, H. (2024). A needs-based approach to sustainable energy use: Case studies of four remote villages in Indonesia. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05572-8>
- Pratama, S. G., Alissa, R. A. D. N., Nafis, R. F., Arrayyan, A. Z., & Putra, K. T. (2023). Implementation and feasibility study of solar-powered streetlighting systems in rural community area. *E3S Web of Conferences*, 425, 05007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342505007>
- Rabaza, O., Pérez-Ocón, F., Aznar-Dols, F., & Gómez-Lorente, D. (2025). Development of a comprehensive model for the design of photovoltaic solar public lighting systems in rural and urban areas. *Cleaner Engineering and Technology*, 27, 101012. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2025.101012>
- Pahlevi, R. (2014). *Pengujian karakteristik panel surya berdasarkan intensitas tenaga surya* (Undergraduate thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Padang, R. S., & Mulyadi, R. (2023). Evaluating and analyzing the solar public street lighting utilization: A case study in Manokwari.
- Scott-George, A., Li, C., Tang, Y. K., Saha, S., Bin Ali, M. T., Marma, A., & Pal, S. (2021). A review on the sustainability of solar home system for rural electrification. *E3S Web of Conferences*, 294, 02003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202129402003>
- Sumbung, F. H., & Letsoin, Y. (2012). Analisa dan estimasi radiasi konstan energi matahari melalui variasi sudut panel fotovoltaik SHS 50 Wp. *Mustek Anim Ha*.
- Sutopo, W., Mardikaningsih, I. S., Zakaria, R., & Ali, A. (2020). A model to improve the implementation standards of street lighting based on solar energy: A case study. *Energies*, 13(3), 630. <https://doi.org/10.3390/en13030630>
- Wiesmeier, C., Haedrich, I., Weiss, K.-A., & Duerr, I. (2013). Overview of PV module encapsulation materials. *Photovoltaics International*, 19, 85–92.
- Yadi, F., Adanta, D., Syofii, I., Santosa, M. A., Sari, D. P., & Saputra, M. A. A. (2022). Feasibility of 12 W solar power plant for street lighting in rural area.