

Perencanaan Penerangan Jalan Umum (PJU) Tenaga Surya Pada Desa Sikeben Kecamatan Sibolangit Kabupaten Deli Serdang

Khairul Imam Barus^{*}), Dicky Lesmana, Eddy Sutejo

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi
Jln. Jend. Gatot Subroto Km 4,5 Sei Sikambing, Medan, 20128, Sumatera Utara, Indonesia
email: khairulimam750@gmail.com

Abstract — Solar energy is a renewable energy source (EBT) that will never run out. One utilization of solar energy is as a source of solar-powered public street lighting (PJUTS). Public street lighting aims to assist the public when traveling and improve road safety at night. This research will focus on planning solar-powered public street lighting located in Sikeben Village, Sibolangit District, Deli Serdang Regency, which is a provincial road with a width of 5 meters and a length of 3950 meters. At night, several points on the road have minimal lighting, potentially increasing the risk of accidents and crime. Additionally, at some other points, lighting is already installed, but it still relies on the PLN (State Electricity Company) as the power source. The planning of solar-powered public street lighting (PJUTS) requires 158 lighting points with 24 Watt LED lamp loads. With a pole height of 7 meters and a distance of 25 meters between poles, the lighting intensity is calculated to be 6.72 lux manually. According to applicable standards, the value of illumination intensity is 3-7 lux. The solar modules used have a capacity of 75 Wp. PJUTS operates for 12 hours a day and can continue operating for 3 days without solar energy source. The total cost for this solar-powered public street lighting is Rp 1,224,500,000.

Abstrak - Energi surya merupakan sumber energi baru terbarukan (EBT) yang tidak akan habis. Salah satu pemanfaatan energi surya adalah sebagai sumber energi penerangan jalan umum (PJUTS) bertenaga surya. Penerangan jalan umum bertujuan untuk membantu masyarakat saat bepergian dan meningkatkan keselamatan jalan di malam hari. Pada penelitian ini akan dilakukan perencanaan Penerangan Jalan Umum (PJUTS) bertenaga surya yang berlokasi di Desa Sikeben Kecamatan Sibolangit Kabupaten Deli Serdang yang merupakan jalan provinsi dengan lebar jalan 5 m dan panjang jalan 3950 m. Pada malam hari, beberapa titik jalan minim penerangan sehingga berpotensi meningkatkan terjadinya kecelakaan dan kejahatan. Selain itu, di beberapa titik lain sudah dipasang penerangan, namun masih menggunakan sumber dari PLN. Perencanaan penerangan jalan umum bertenaga surya (PJUTS) memerlukan 158 titik penerangan dengan beban lampu LED 24 Watt. Dengan tinggi tiang 7 m dan jarak antar tiang 25 m, intensitas penerangan sebesar 6,72 lux untuk perhitungan manual. Sedangkan menurut standar yang berlaku, nilai intensitas pencahayaan adalah 3-7 lux. Modul surya yang digunakan berkapasitas 75 Wp. PJUTS beroperasi 12 jam sehari dan mampu tetap beroperasi selama 3 hari tanpa sumber energi surya. Biaya total yang harus dikeluarkan untuk penerangan jalan umum tenaga surya ini sebesar Rp 1.224.500.000.

Kata Kunci - Perencanaan, Penerangan Jalan Umum, Tenaga Surya

***) penulis korespondensi: Khairul Imam Barus**
Email: khairulimam750@gmail.com

I. PENDAHULUAN

Penerangan Jalan Umum (PJU) merupakan fasilitas umum yang berfungsi sebagai penerangan jalan pada malam hari. Namun mayoritas pengguna PJU di Indonesia masih menggunakan sumber listrik dari PT. PLN, dimana sumber energi yang dihasilkan oleh PT. PLN masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil. Jika dilihat dari segi geografis, Indonesia mempunyai potensi energi terbarukan yang cukup besar. Sebagai contoh energi terbarukan yang dapat digunakan yaitu penggunaan energi surya. Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS) merupakan salah satu alternatif untuk mengurangi penggunaan energi fosil. Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS) merupakan penerangan jalan umum yang bersifat mandiri dimana sumber energi listrik untuk beban penerangannya dihasilkan oleh panel surya (solar cell). Desa Sikeben Kecamatan Sibolangit Kabupaten Deli Serdang sendiri jumlahnya masih terbilang sedikit Penggunaan PJUTS salah satunya terjadi di Beberapa Tempat yang sistem penerangannya masih menggunakan sistem PJU yang sumber listriknya masih bergantung pada sumber listrik dari PT. PLN. Namun tidak berhenti sampai di situ, selain penggunaan energi terbarukan, sistem penerangan jalan umum memerlukan perencanaan yang matang. Perencanaan yang matang merupakan untuk menciptakan suatu sistem penerangan jalan yang bertujuan untuk mencapai sistem penerangan jalan umum yang ideal. Selain itu, perencanaan yang matang juga dapat menciptakan sistem pencahayaan yang tepat sehingga tidak terjadi pemborosan energi atau energi yang terbuang.

II. PENELITIAN YANG TERKAIT

A. Lampu Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (LPJUTS)

Penerangan Jalan Tenaga Surya merupakan salah satu alternatif yang murah dan ekonomis untuk digunakan sebagai sumber penerangan listrik karena menggunakan sumber energi yang gratis dan tidak terbatas dari alam yaitu energi matahari. Menggunakan modul/panel surya dengan masa pakai hingga 25 tahun yang fungsinya menerima sinar matahari (ray) yang kemudian diubah menjadi listrik melalui proses fotovoltaiik. Kemudian disimpan dalam baterai sehingga tidak memerlukan suplai dari PLN, otomatis menyala pada sore hari dan mati pada pagi hari dengan perawatan yang mudah dan efisien hingga bertahun-tahun. Secara keseluruhan, sistem ini dirancang untuk memberikan penerangan umum dengan menggunakan sumber energi terbarukan, bebas biaya pemeliharaan dan dengan umur ekonomis yang panjang.



Gbr. 1 Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya

B. Modul Surya (Photovoltaic)

Panel surya merupakan komponen yang berfungsi mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Panel ini tersusun dari beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri atau paralel. Sebuah panel surya umumnya terdiri dari 32-40 sel surya tergantung dari ukuran panel, kombinasi panelnya.

Sel surya tersusun dari dua lapisan semikonduktor dengan muatan berbeda. Lapisan atas sel surya bermuatan negatif sedangkan lapisan bawah bermuatan positif. Silikon adalah bahan semikonduktor yang paling umum digunakan untuk sel surya. Dengan memanfaatkan pengaruh sinar matahari dari bahan semikonduktor, sel surya dapat langsung mengubah energi sinar matahari menjadi listrik arus searah (DC). Panel surya digunakan untuk menyerap energi matahari dan kemudian mengubahnya menjadi energi listrik (DC). Kapasitas panel surya memerlukan beberapa faktor yang harus diperhatikan yaitu kebutuhan energi total, insolasi cahaya dan faktor penyesuaian. Faktor penyesuaian ini dimaksudkan untuk memperhitungkan kerugian yang dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$Kapasitas \leftrightarrow Panel = \frac{ET}{Insolasi} \times 1,1 \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

ET = Energi Total (Wh)

Untuk mengetahui jumlah modul yang diperlukan digunakan persamaan berikut:

$$\sum modul = \frac{ET}{E_{Modul}} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

Σ modul = jumlah modul

ET = energi total (Wh)

E_{modul} = energi yang dihasilkan modul

C. Baterai

Baterai merupakan salah satu komponen yang berfungsi menghasilkan energi listrik DC pada tata surya. Energi listrik pada baterai dihasilkan oleh panel surya yang mengubah sinar matahari menjadi energi listrik. Untuk menghitung kapasitas baterai yang sesuai dengan panel surya dan beban keluarannya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$I_{Ah} = \frac{ET}{V_S} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

I_{Ah} = kapasitas arus yang dibutuhkan (Ah)

ET = energi total (Wh)

V_S = tegangan sumber (V)

Ketentuan yang membatasi kedalaman pengosongan maksimum yang diterapkan pada baterai. Tingkat kedalaman pengosongan (Depth of Discharge) baterai biasanya dinyatakan dalam persentase. Misalnya baterai mempunyai

DOD sebesar 80%, artinya hanya 80% energi yang ada yang dapat digunakan dan 20% sisanya sebagai cadangan. Kapasitas baterai dengan mempertimbangkan faktor depth of discharge (DOD) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$I_{Ah} Total = \frac{I_{Ah}}{DOD} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

I_{Ah} total = kapasitas total baterai (Ah)

I_{Ah} = kapasitas arus yang dibutuhkan

DOD = depth of discharge (%)

Setelah mengetahui total kapasitas baterai yang dibutuhkan dan kapasitas baterai per unit yang akan digunakan, Anda dapat menentukan jumlah baterai yang dibutuhkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\Sigma Baterai = \frac{I_{Ah} Total}{Kapasitas Baterai Per Unit} \dots \dots \dots (5)$$

Dimana:

Σ baterai = jumlah baterai (unit)

I_{Ah} total = kapasitas total baterai (Ah)

D. Battery Charge regulator

Solar charge controller mengatur *overcharging* (pengisian berlebih - karena baterai 'penuh') dan kelebihan tegangan dari modul surya. Tegangan berlebih dan pengisian daya berlebihan akan mengurangi masa pakai baterai. *Charge controller* ini menerapkan teknologi *Pulse width Modulation (PWM)* untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pelepasan arus dari baterai ke beban. Untuk menghitung kebutuhan kapasitas BCR harus diketahui terlebih dahulu karakteristik dan spesifikasi panel surya dan yang harus diperhatikan adalah nilai I_{sc} (arus hubung singkat), nilai tersebut dikalikan dengan jumlah panel surya maka hasilnya adalah nilai minimum pengontrol muatan yang diperlukan. Kapasitas BCR saat ini dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$I_{Max} = \frac{P_{Total}}{V_s} \dots \dots \dots (6)$$

Dimana:

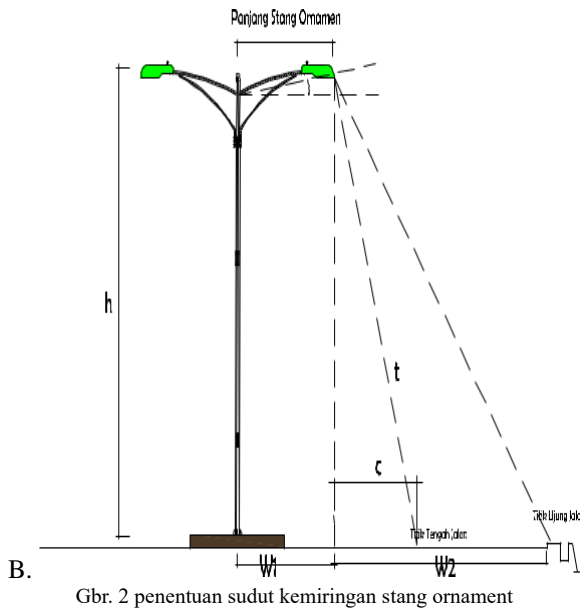
I_{maks} = arus maksimum, kapasitas BCR (A)

P_{total} = daya total sistem (W)

V_s = tegangan sistem (V)

A. Tiang Lampu Penerangan Jalan Umum (LPJU)

Tiang merupakan komponen yang digunakan untuk menopang lampu. Beberapa jenis tiang yang digunakan untuk penerangan jalan adalah tiang besi dan tiang segi delapan. Untuk menentukan sudut kemiringan stang hias agar titik penerangan diarahkan tepat di tengah jalan dan memberikan pemerataan penerangan yang maksimal, dapat dilihat gambar sudut kemiringan tiang berikut ini:



Gbr. 2 penentuan sudut kemiringan stang ornament

Dimana:

- h = tinggi tiang penerangan.
 - t = jarak vertikal ujung penerangan ke titik tengah jalan.
 - c = jarak horizontal ujung penerangan ke titik tengah jalan.
 - W1 = jarak dari tiang penerangan ke ujung penerangan.
 - W2 = jarak dari ujung penerangan ke ujung perkerasan jalan.
- Untuk menentukan sudut kemiringan stang ornament dapat menggunakan persamaan berikut:

$$t = \sqrt{h^2 + c^2} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana:

- t = jarak lampu ke tengah-tengah jalan
 - h = tinggi tiang
 - c = jarak lampu ke tengah-tengah jalan secara horizontal
- Sehingga untuk mendapatkan sudut kemiringan stang ornament dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\cos\theta = \frac{h}{t} \dots\dots\dots(8)$$

Dimana “θ” merupakan sudut kemiringan stang ornament

E. Dasar Pencahayaan

Dasar pencahayaan merupakan tolak ukur awal yang digunakan dalam merancang atau merencanakan suatu sistem pencahayaan. Ada beberapa istilah dan rumus dalam merancang suatu sistem pencahayaan untuk menentukan sistem pencahayaan yang memenuhi standar anggaran yang efisien. Berikut ini istilah dan rumus yang umum ditemukan dalam dasar-dasar pencahayaan.

a. Fluks Cahaya

Fluks cahaya adalah jumlah cahaya yang dipancarkan oleh suatu sumber cahaya. Simbol fluks cahaya adalah Φ dan satuannya adalah lumen (lm). Untuk menghitung intensitas cahaya, Anda dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\Phi = \omega \cdot I \dots\dots\dots(9)$$

Dimana :

- Φ = fluks cahaya (lm)
- ω = sudut ruang dalam steradian (sr)
- I = intensitas cahaya (cd)

Dari persamaan fluks cahaya di atas diperoleh persamaan intensitas cahaya sebagai berikut:

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \dots\dots\dots(10)$$

Dimana:

- I = intensitas cahaya (cd)
- Φ = fluks cahaya (lumen)
- ω = sudut ruang dalam steradian (sr)
- $\omega = 4 \pi$

b. Intensitas Penerangan (Iluminasi)

Intensitas pencahayaan atau iluminasi atau kekuatan iluminasi adalah fluks cahaya yang jatuh pada suatu area atau permukaan. Satuan intensitas pencahayaan adalah lumen/m² (Lux) atau 1 lux = 1 lumen/m². Jika suatu area seluas A m² disinari dengan Φ lumens. Untuk menghitung intensitas pencahayaan atau kuat pencahayaan atau iluminasi dapat menggunakan persamaan berikut:

$$E_{Rata-Rata} = \frac{\Phi \cdot \eta \cdot MF}{W \cdot S} \dots\dots\dots(11)$$

Dimana :

- E_{Rata-rata} = rata-rata penerangan dalam satuan lux (lx)
- Φ = fluks cahaya (lumen)
- η = faktor kegunaan
- MF = faktor pemeliharaan/Faktor Kehilangan Cahaya
- W = lebar jalan (m)
- S = jarak antar tiang (m)

Untuk Untuk menghitung besarnya penerangan pada titik/koordinat tertentu, gunakan rumus berikut:

$$E = \frac{1}{E^2} \cos\theta \dots\dots\dots(12)$$

Dimana r adalah jarak dari titik penerangan ke titik P (titik pengukuran tingkat penerangan).

c. Luminansi (L)

Luminansi adalah jumlah intensitas cahaya per satuan luas. Merupakan ukuran kecerahan suatu benda. Pencahayaan yang terlalu besar akan menyilaukan mata. Dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$L = \frac{I}{As} \dots\dots\dots(13)$$

Dimana:

- L = luminansi (cd/m²)
- I = intensitas (cd)
- As = luas semua permukaan (m²)

Dengan

$$As = A \cos \theta$$

Sehingga didapat persamaan berikut:

d. Efikasi

Efikasi adalah kisaran angka perbandingan antara fluks cahaya (lumen) dan daya listrik suatu sumber cahaya (watt), dalam satuan lumen/watt. Khasiat juga bisa disebut sebagai fluks cahaya spesifik. Khasiat dapat diperoleh dari data katalog produk pencahayaan. Khasiatnya juga dapat ditentukan dengan perhitungan manual dengan menggunakan rumus berikut:

$$K = \frac{\Phi}{P} \dots\dots\dots(14)$$

Dimana:

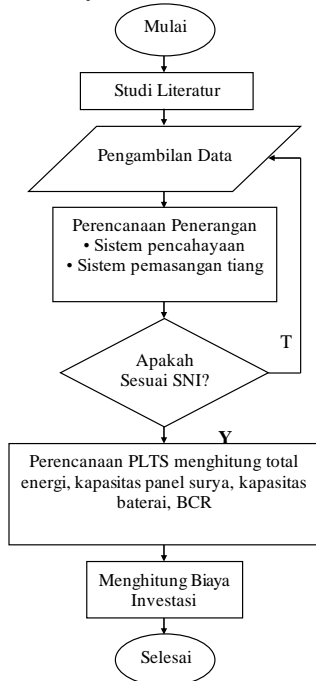
- K = efikasi cahaya (lm/watt)
- Φ = fluks cahaya (lm)
- P = daya listrik (watt)

III.METODE PENELITIAN

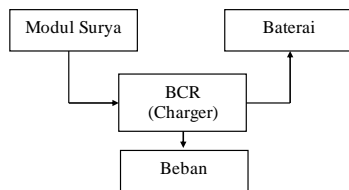
A. Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini diperlukan adanya diagram alir yang bertujuan untuk memudahkan dalam proses perencanaan

penerangan jalan umum bertenaga surya. Berikut ini adalah gambar diagram alirnya.



Gbr. 3 Diagram Alir Penelitian



Gbr. 4 Diagram Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya

Gambar di atas merupakan diagram blok Penerangan Jalan Umum (PJUTS) bertenaga surya dengan sumber energi dari radiasi matahari. Sinar matahari akan diserap oleh modul surya dan kemudian diubah menjadi energi listrik. Arus yang dihasilkan modul surya adalah arus DC atau arus searah. Arus yang dihasilkan modul surya akan disimpan pada baterai melalui BCR. BCR akan berfungsi sebagai pengendali utama dalam distribusi energi, menyuplai energi ke beban ringan melalui BCR. Sistem ini akan bekerja selama 12 jam dalam 1 hari. Untuk membuat lampu menyala secara otomatis, akan dipasang sensor cahaya berupa *light dependen resistor* (LDR).

B. Lokasi Penelitian

Dalam penelitian ini lokasi akan diambil di Desa Sikeben Kecamatan Sibolangit Kabupaten Deli Serdang yang mempunyai panjang lintasan 3950 meter dengan lebar jalan 5 meter. Penerangan jalan raya di Jalan Desa Sikeben Kecamatan Sibolangit Kabupaten Deli Serdang masih menggunakan sumber dari PLN atau penerangan jalan konvensional. Ada titik yang tidak menyala dan ada titik yang lampunya tidak berfungsi atau rusak.

C. Perhitungan Yang Akan Dibahas

Perhitungan sistem penerangan meliputi fluks cahaya, intensitas penerangan, intensitas penerangan, tinggi tiang dan jarak antar tiang. Perhitungan PLTS meliputi total energi yang dibutuhkan, kapasitas panel, kapasitas baterai, kapasitas BCR.

Kemudian menghitung biaya investasi yang diperlukan untuk PJUTS.

D. Data Teknis

Jalan yang dijadikan studi kasus dalam penelitian adalah jalan di Desa Sikeben Kecamatan Sibolangit Kabupaten Deli Serdang. Kondisi penerangan jalan pada malam hari kurang baik dikarenakan pencahayaan yang tidak merata dan terdapat beberapa titik lampu yang tidak berfungsi, terlihat pada gambar berikut:



Gbr. 5 Kondisi Jalan Siang dan Malam Hari

TABEL I
DATA TEKNIS JALAN

Keterangan	Spesifikasi
Nama jalan	JL. Desa Sikeben
Panjang jalan	3950 M
Lebar jalan	5M
Jumlah lajur	1 Jalur
Status jalan	Provinsi
Fungsi jalan	Kolektor
Kelas jalan	Primer

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Kemiringan Stang Ornament

Dari hasil penentuan spesifikasi tiang penerangan jalan umum yang telah dibuat sebelumnya yaitu dengan tinggi tiang 7 m dan panjang stang ornamen 1 m maka parameter spesifikasi tiang tersebut dapat digunakan untuk menghitung kemiringan stang ornamen

$$t = \sqrt{h^2 + c^2}$$

$$t = \sqrt{7^2 + 1.5^2}$$

$$t = 7,158$$

Setelah mendapatkan nilai t maka untuk menentukan kemiringan stang ornamen menggunakan persamaan

$$\cos \theta = \frac{h}{t}$$

$$\cos \theta = \frac{7}{7,158}$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{7}{7,158}$$

$$\theta = 12,06^\circ$$

B. Perhitungan Intensitas Cahaya

Besarnya intensitas cahaya pada candela (cd) dengan lumen lampu LED 3000 Lumen yaitu:

$$I = \frac{\phi}{\omega}$$

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

$$I = 238,73 \text{Candela}(cd)$$

Jadi intensitas cahaya yang diperoleh dari setiap lampu penerangan jalan adalah 238,73 candela (cd)

C. *Perhitungan Intensitas Penerangan*

Untuk menghitung intensitas pencahayaan rata-rata menggunakan Persamaan:

$$E_{Rata-Rata} = \frac{\Phi \cdot \eta \cdot MF}{W \cdot S}$$

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

$$E_{Rata-Rata} = \frac{\Phi \cdot \eta \cdot MF}{W \cdot S}$$

$$E_{Rata-Rata} = \frac{3000 \cdot 0,35 \cdot 0,8}{525}$$

$$E_{Rata-Rata} = 6,72 Lux$$

Untuk mengetahui iluminasi pada suatu titik/koordinat (P) digunakan persamaan:

$$E = \frac{1}{E^2} CosCos\phi$$

Sebagai sampel diambil pada sisi ujung perkerasan jalan dengan nilai $h = 7$ m dan $W_2 = 4$ m.

$$r = \sqrt{h^2 + W_2^2}$$

$$r = \sqrt{7^2 + 4^2}$$

$$r = 8,06$$

Setelah mengetahui nilai r , masukkan ke dalam persamaan menjadi

$$E = \frac{I}{r^2} CosCos\phi$$

$$E = \frac{238,72}{8,06^2}$$

$$E = 3,59 Lux$$

Jadi nilai iluminasi pada titik/koordinat ujung perkerasan adalah $3,59$ lux

D. *Perhitungan Luminasi*

Untuk menghitung besarnya luminansi (L) pada lampu LED digunakan persamaan

$$L = \frac{I}{As}$$

Dengan $As = A \cos \theta$ maka untuk mendapatkan besarnya luminansi (L) pada lampu LED yaitu

$$L = \frac{I}{A \cos \theta}$$

$$L = \frac{238,73}{12^0}$$

$$L = 1,95$$

Jadi besarnya luminansi yang didapat untuk setiap lampu LED yang dipasang adalah $1,95$ (cd/m²)

E. *Perhitungan Efikasi*

Efikasi cahaya dalam satuan lumen/watt pada desain penerangan jalan umum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$K = \frac{\theta}{P}$$

Dengan parameter yang diperoleh dari perhitungan sebelumnya yaitu fluks cahaya $\Phi = 3000$ Lumen dan daya lampu LED yang digunakan sebesar 24 Watt, maka

$$K = \frac{\theta}{P}$$

$$K = \frac{3000}{24}$$

$$K = 125 Lumen/Watt$$

Sehingga diperoleh khasiat cahayanya pada lampu LED yang dipasang pada setiap tiang penerangan jalan, yaitu sebesar 125 Lumen/watt.

F. *Perhitungan Titik Penerangan*

Tentukan banyaknya titik lampu yang dibutuhkan pada penerangan jalan umum bertenaga surya di Desa Sikeben Kecamatan Sibolangit Kabupaten Deli Serdang dengan menggunakan persamaan

$$T = \frac{L}{S} + 1$$

Desa Sikeben Kecamatan Sibolangit Kabupaten Deli Serdang dengan panjang lintasan jalan 3.950 m atau $3,95$ km dan jarak antar tiang yang dihitung 25 m, maka

$$T = \frac{L}{S} + 1$$

$$T = \frac{3950}{25} + 1$$

$$T = 158 Titik$$

Sehingga banyaknya titik lampu yang diperlukan pada Desa Sikeben Kecamatan Sibolangit Kabupaten Deli Serdang yaitu sebanyak 158 Titik lampu.

G. *Analisa Perencanaan Dan SNI*

Untuk memastikan bahwa desain penerangan jalan umum pada penelitian ini telah sesuai dengan standar yang berlaku, maka perlu dilakukan analisis hasil perencanaan dengan menggunakan standar nasional yang telah ditetapkan di Indonesia. Berikut hasil perencanaan dan Standar Nasional Indonesia (SNI).

TABEL II
PERBANDINGAN HASIL PERANCANGAN DAN SNI

Parameter	Perhitungan	SNI
E rata-rata	6,72 lux	3-7 lux
E min	3,59 lux	3 lux
L rata-rata	1,95 cd/m ²	1,00 cd/m ²
Kemerataan	0,469	0,14
L maks	1,98 cd/m ²	-
L min	0,96 cd/m ²	-
VD	0,484	0,40
VI	0,50	0,50

H. *Penentuan Spesifikasi Tenaga Surya*

Perhitungan Kebutuhan Energi

Pada penelitian ini besarnya daya yang digunakan sebesar 24 W. Beban yang dimaksud adalah beban ringan yang biasa digunakan selama 12 jam dalam sehari, namun sebagaiantisipasi sesuai dengan peraturan dinas transportasi yang membackup energi surya adalah selama 3 hari, artinya selama 36 jam pemakaian. maka kebutuhan energinya adalah

$$E_T = P_L \cdot t$$

$$E_T = 24 \times 36 \Rightarrow Jam$$

$$E_T = 864 Watt$$

Perhitungan Kapasitas Modul Surya

Penentuan kapasitas daya panel surya diambil berdasarkan harga insolasi surya terendah. Berdasarkan data insolasi surya, harga insolasi surya terendah adalah $4,31$ kWh/m²/hari. Maka kapasitas panel surya adalah

$$KapasitasPanel = \frac{E_T}{Insolasi} \times 1,1$$

$$KapasitasPanel = \frac{864}{4,31} \times 1,1$$

$$KapasitasTotalPanel = 220,5wp$$

Modul surya yang akan digunakan adalah modul surya berkapasitas 75 Wp. Dengan asumsi penyinaran matahari selama 3 jam, maka energi yang dihasilkan panel surya adalah.

$$E_{modul} = P_{modul} \times faktor\ pengali$$

$$E_{modul} = 75\ Wp \times 3\ h$$

$$E_{modul} = 225\ Wh$$

Dengan kapasitas modul 75 Wp dan waktu penyinaran 3 jam, dihasilkan energi sebesar 225 Wh. Banyaknya panel surya yang dibutuhkan pada satu tiang penerangan adalah

$$\sum Modul = \frac{E_T}{E_{Modul}}$$

$$\sum Modul = \frac{220,5}{225}$$

$$\sum Modul = 0,98 \approx 1Unit$$

Perhitungan Baterai

Jumlah baterai dan kapasitas baterai yang digunakan harus mampu menampung total energi yang dibutuhkan. Satuan kapasitas baterai adalah Ah, sedangkan satuan energinya adalah Wh, sehingga menentukan kapasitas baterai harus dibagi dengan tegangan sistem.

$$I_{Ah} = \frac{E_T}{V_S}$$

$$I_{Ah} = \frac{864}{12}$$

$$I_{Ah} = 72Ah$$

Dengan mempertimbangkan faktor DOD (kedalaman pengosongan), maka kapasitas baterai yang dibutuhkan adalah

$$I_{Ah}Total = \frac{I_{Ah}}{DOD}$$

$$I_{Ah}Total = \frac{72}{80\%}$$

$$I_{Ah}Total = 90Ah$$

Jika menggunakan baterai berkapasitas 100Ah, 12V maka jumlah baterai yang dibutuhkan untuk satu tiang penerangan jalan umum adalah

$$\sum Baterai = \frac{I_{Ah}Total}{KapasitasBateraiPerUnit}$$

$$\sum Baterai = \frac{90}{100}$$

$$\sum Baterai = 0,9 \approx 1Unit$$

Perhitungan BCR

BCR berfungsi sebagai titik pusat penghubung beban, panel surya, dan baterai. Maka arus maksimum pada BCR adalah

$$I_{BCR} = \frac{P_{Total}}{V_S}$$

$$I_{BCR} = \frac{24}{12}$$

$$I_{BCR} = 2A$$

I. Biaya Investasi

TABEL II
PERHITUNGAN BIAYA INVESTASI PER TITIK

Jenis Material	Banyak	Harga Satuan	Total
Tiang + stang ornament	1	2.400.000	2.400.000
Panel surya	1	1.125.000	1.125.000
Baterai	1	1.250.000	1.250.000
LED + rumah lampu + sensor	1	225.000	225.000
BCR	1	347.000	347.000

MCB	1	170.000	170.000
Kabel	4 m	4.500	18.000
Box panel	1	750.000	750.000
Biaya pemasangan	1 titik	1.465.000	1.465.000
Biaya Investasi per titik			7.775.000

Untuk mengetahui total biaya investasi penerangan jalan umum maka jumlah titik dikalikan dengan biaya per titik

$$Biaya\ total = T \times Biaya\ per\ titik$$

$$Biaya\ total = 158 \times Rp\ 7.775.000$$

Maka biaya total yang harus dikeluarkan untuk penerangan jalan umum tenaga surya ini sebesar Rp 1.224.500.000
 $Biaya\ total = Rp\ 1.224.500.000$

V. KESIMPULAN

- Jumlah panel surya yang digunakan pada tiap-tiap tiang penerangan jalan sebanyak 1 unit dengan kapasitas 75wp. Untuk jumlah baterai yang digunakan pada tiap-tiap tiang penerangan jalan sebanyak 1 unit dengan kapasitas 100 Ah. Sedangkan untuk BCR pada tiap-tiap tiang penerangan setidaknya memiliki kapasitas arus 2 A
- Sistem penerangan jalan umum tenaga surya pada penelitian ini mampu beroperasi selama 3 hari atau 36 jam dengan rincian 12 jam per hari lampu akan beroperasi.
- biaya total yang harus dikeluarkan untuk penerangan jalan umum tenaga surya ini sebesar Rp 7.775.000 Per Titik

DAFTAR PUSTAKA

- Anhar, w; dkk, "Perhitungan Lampu Penerangan Jalan Berbasis Solar System", Jurnal Sains Terapan, vol. vol 4 no.1, 2018.
- Aziz, Abdul, "Perencanaan Pembangkit Listrik Hibrida Plts - Generator Bbm Dengan Kapasitas 3000 Va ", Institut Teknologi Nasional Bandung, 2016
- Effendi, Asnal; M, Aldifian, "Perencanaan Penerangan Jalan Umum Jalan Lingkar Utara Kota Solok", Jurnal Teknik Elektro ITP, Vols. Vol 1, No 2, 2012
- Hadi, Wahyu Setyo ; dkk, "Perencanaan Sistem Penerangan Jalan Umum Photovoltaik Di Taman Wisata Matahari", Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Teknik Elektro Universitas Pakuan Bogor, Vols. Vol 1, No 1, 2018
- Kusumayogo, Engga dkk, "Analisis Teknis Dan Ekonomis Penerapan Penerangan Jalan Umum Solar Cell Untuk Kebutuhan Penerangan Di Jalan Tol Darmo Surabaya," 2013
- Messenger, A Roger. Ventre, Jerry, Photovoltaic Systems Engineering, Second Edition, CRC Press, 2003
- Putri Sundari, dkk, "Proposal Instalasi Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (Pjuts) Jalan Tol Probolinggo Banyuwangi", Fakultas Teknik Mesin Dan Dirgantara Institut Teknologi Bandung, 2017
- Quashning, Volker, "understanding Renewable Energy Systems", London: Sterling, VA, 2005
- Warsiyanto, E, "Prototipe Solar Dryer Portable Untuk Rumpun Laut Dengan PLTS Berbasis Mikrokontroler"