

PERENCANAAN PENERANGAN JALAN UMUM TENAGA SURYA (PJUTS) DAN SIMULASI DIALux (STUDI KASUS JALAN KOLONEL MASTURI CIMAH)

Made Tirta Yasa¹, Ivany Sarief²

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sangga Buana, Bandung

¹madetirta04@gmail.com, ²ivany.sarief@usbypkp.ac.id

ABSTRAK

Energi matahari merupakan salah satu sumber energi baru dan terbarukan (EBT) yang tidak akan habis. Salah satu pemanfaatan energi matahari yaitu sebagai sumber energi penerangan jalan umum tenaga surya (PJUTS). Penerangan jalan umum bertujuan untuk membantu masyarakat ketika akan melakukan perjalanan serta meningkatkan keamanan di jalan raya pada malam hari. Pada penelitian ini akan dibuat perencanaan penerangan jalan umum tenaga surya (PJUTS) yang berlokasi di Jl. Kolonel Masturi Cimahi dengan bantuan software DIALux untuk simulasi pencahayaan. Jl. Kolonel Masturi Cimahi sendiri merupakan jalan provinsi dengan lebar jalan 5 m dan panjang jalan 3950 m. Pada saat malam hari di beberapa titik jalan minim penerangan sehingga berpotensi meningkatkan terjadinya kecelakaan dan tindak kriminal. Selain itu di beberapa titik lainnya sudah terpasang lampu penerangan hanya saja masih menggunakan sumber dari PLN. Perencanaan penerangan jalan umum tenaga surya (PJUTS) memerlukan 158 titik penerangan dengan beban lampu LED 24 Watt. Dengan tinggi tiang 7 m dan jarak antar tiang 25 m menghasilkan intensitas penerangan 6,72 lux untuk perhitungan manual dan 7,09 lux dengan menggunakan software DIALux. Sedangkan menurut standar yang berlaku nilai intensitas penerangan sebesar 3-7 lux. Untuk modul surya yang digunakan memiliki kapasitas 75 Wp. PJUTS beroperasi 12 jam sehari dan mampu tetap beroperasi selama 3 hari tanpa adanya sumber energi matahari. Biaya investasi yang dibutuhkan sebesar Rp 1.224.500.000

Kata Kunci : *DIALux; energi matahari; intensitas penerangan; LED; PJUTS*

I. PENDAHULUAN

Penerangan jalan umum (PJU) merupakan fasilitas umum yang memiliki fungsi sebagai penerangan jalan pada kondisi malam hari. Namun banyaknya penggunaan PJU di Indonesia sebagian besar masih menggunakan sumber listrik dari PT.PLN dimana sumber energi yang dihasilkan oleh PT.PLN ini masih sangat bergantung dengan bahan bakar fosil. Bila ditinjau dari sisi geografis, Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang cukup besar. Sebagai salah satu contoh energi terbarukan yang dapat digunakan yaitu pemanfaatan energi matahari.

Penerangan jalan umum tenaga surya (PJUTS) menjadi alternatif untuk mengurangi penggunaan energi fosil. Penerangan jalan umum tenaga surya (PJUTS) ini merupakan penerangan jalan umum secara mandiri dimana sumber energi listrik untuk beban lampu dihasilkan oleh panel surya (solar cell). Di kota Bandung sendiri masih tergolong sedikit

penggunaan PJUTS ini sebagai salah satu kasus terdapat di jalan Abdulrahman Shaleh kota Bandung dimana sistem penerangannya masih menggunakan sistem PJU yang sumber listriknya masih bergantung pada sumber listrik dari PT.PLN.

Namun tidak sampai disini, selain dari pemanfaatan energi terbarukan sistem penerangan jalan umum memerlukan sebuah perencanaan yang matang. Perencanaan yang matang ini syarat mutlak untuk membuat suatu sistem penerangan jalan yang bertujuan untuk mencapai sistem penerangan jalan umum yang ideal. Selain itu perencanaan yang matang ini juga dapat membuat sistem penerangan yang sesuai sehingga tidak terjadi pemborosan energi atau energi yang terbuang. Salah satu cara agar mendapatkan hasil yang maksimal dalam perencanaan ini menggunakan software dialux untuk mensimulasikan sistem penerangan jalan umum yang sudah dirancang.

Pada tugas akhir ini, akan dibuat sistem penerangan jalan umum tenaga surya (PJUTS)

di jalan Kolonel Masturi Kota Cimahi yang memiliki panjang 3950 m dan lebar 5 m. Dengan bantuan software dialux dapat mempermudah perencanaan seperti banyaknya tiang PJU, jarak antar tiang, jenis lampu yang digunakan dan yang terakhir melakukan simulasi sistem penerangan jalan agar sesuai dengan standar yang berlaku di Indonesia.

II. TINJAUAN PUSTAKA

12.1 Lampu Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (LPJUTS)

Penerangan Jalan Tenaga Surya merupakan sebuah alternatif yang murah dan hemat untuk digunakan sebagai sumber listrik penerangan karena menggunakan sumber energi gratis dan tak terbatas dari alam yaitu energi matahari. Menggunakan Modul/Panel Surya dengan lifetime hingga 25 tahun yang berfungsi menerima cahaya (sinar) matahari yang kemudian diubah menjadi listrik melalui proses photovoltaic. Kemudian disimpan di baterai sehingga tidak memerlukan suplai dari PLN, secara otomatis dapat mulai menyala pada sore hari dan padam pada pagi hari dengan perawatan yang mudah dan efisien selama bertahun-tahun. Secara keseluruhan sistem ini dirancang untuk penyediaan cahaya penerangan umum dengan sumber energi terbarukan, bebas biaya perawatan dan berumur ekonomis lama.[1]



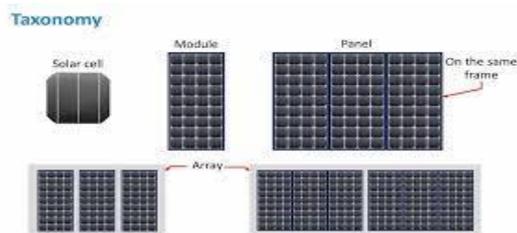
Gambar 2.1 Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya

Sumber: janaloka.com/lampu-jalan-tenaga-surya

12.2 Modul Surya (Photovoltaic)

Panel surya merupakan komponen yang berfungsi untuk mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Panel ini tersusun dari beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri maupun secara paralel. Sebuah panel surya umumnya terdiri dari 32-40

sel surya, tergantung dari ukuran panel, gabungan dari panel-panel ini akan membentuk suatu "Array".[2]



Gambar 2.2 Sel Surya, Modul Surya dan Array
Sumber Netsolar.com

Sel surya tersusun dari dua lapisan semikonduktor dengan muatan yang berbeda. Lapisan atas sel surya bermuatan negatif sedangkan lapisan bawahnya bermuatan positif. Silicon adalah bahan semikonduktor yang paling umum digunakan untuk sel surya. Dengan menggunakan pengaruh sinar surya dari bahan semikonduktor, sel surya dapat langsung mengkonversi energi dari sinar matahari menjadi listrik arus searah (dc).[3]

Panel surya digunakan untuk menyerap energi matahari dan kemudian dikonversikan 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 *losses* (rugi-rugi), dapat dilihat pada persamaan berikut:[4]

$$\text{Kapasitas panel} = \frac{E_T}{\text{insolasi}} \times 1,1 \quad (2.1)$$

Dimana:

E_T = energi total (Wh)

Untuk mengetahui jumlah modul yang diperlukan digunakan persamaan berikut:

$$\sum \text{modul} = \frac{E_T}{E_{\text{Modul}}} \quad (2.2)$$

Dimana:

\sum_{modul} = jumlah modul

E_T = energi total (Wh)

E_{modul} = energi yang dihasilkan modul

12.3 Baterai

Baterai adalah komponen yang berfungsi untuk menghasilkan energi listrik arus dc dalam solar system. Energi listrik dalam baterai dihasilkan oleh panel surya yang merubah sinar matahari menjadi energi listrik. [5]

Untuk perhitungan kapasitas baterai agar sesuai dengan panel surya dan beban output dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:[4]

$$I_{Ah} = \frac{E_T}{V_S} \quad (2.3)$$

Dimana:

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

E_T = energi total (Wh)

V_S = tegangan sumber (V)

Suatu ketentuan yang membatasi tingkat kedalaman pengosongan maksimum, diberlakukan pada baterai. Tingkat kedalaman pengosongan (Depth of Discharge) baterai biasanya dinyatakan dalam persentase. Misalnya, suatu baterai memiliki DOD 80%, ini berarti bahwa hanya 80% dari energi yang tersedia dapat dipergunakan dan 20% tetap berada dalam cadangan. Kapasitas baterai dengan mempertimbangkan faktor *dept of discharge* (DOD) dapat ditentukan dengan persamaan berikut:[4]

$$I_{Ah}^{total} = \frac{I_{Ah}}{DOD} \quad (2.4)$$

Dimana:

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

I_{Ah} = kapasitas arus yang dibutuhkan (

DOD = *depth of discharge* (%)

Setelah mengetahui kapasitas total baterai yang diperlukan dan kapasitas baterai per-unit yang akan digunakan, dapat ditentukan jumlah baterai yang diperlukan menggunakan persamaan berikut:[4]

$$\sum \text{baterai} = \frac{I_{Ah}^{total}}{\text{kapasitas baterai per-unit}} \quad (2.5)$$

Dimana:

\sum_{baterai} = jumlah baterai (unit)

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

12.4 Battery Charge regulator (BCR)

Solar charge controller mengatur *overcharging* (kelebihan pengisian - karena baterai sudah 'penuh') dan kelebihan voltase dari *solar module*. Kelebihan voltase dan pengisian akan mengurangi umur baterai. *Charge controller* menerapkan teknologi *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban.[6]

Untuk menghitung kebutuhan kapasitas BCR, maka harus mengetahui dulu karakteristik dan spesifikasi dari solar panel dan yang harus diperhatikan adalah nilai *Isc* (*short circuit current*), nilainya dikalikan dengan jumlah panel surya, hasilnya merupakan nilai berapa nilai minimal dari charge controller yang

dibutuhkan. Kapasitas arus pada BCR dapat ditentukan dengan persamaan berikut:[7]

$$I_{maks} = \frac{P_{total}}{V_S} \quad (2.6)$$

Dimana:

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

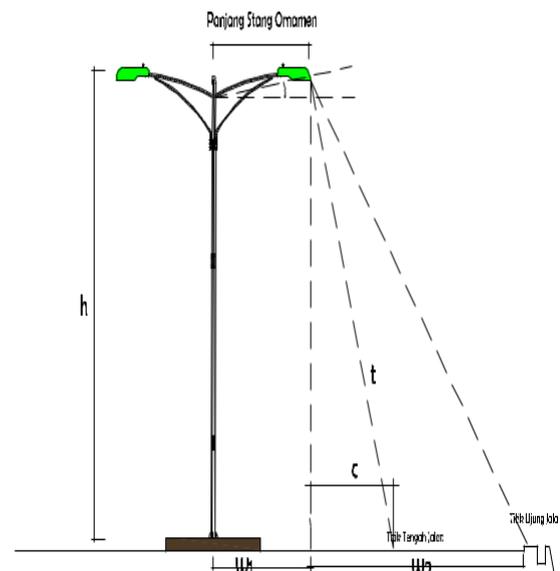
P_{total} = daya total sistem (W)

V_S = tegangan sistem (V)

12.5 Tiang Lampu Penerangan Jalan

Tiang merupakan komponen yang digunakan untuk menopang lampu. Beberapa jenis tiang yang digunakan untuk lampu penerangan jalan adalah tiang besi dan tiang oktagonal.

Untuk menentukan sudut kemiringan stang ornament, agar titik penerangan mengarah tepat di tengah – tengah jalan serta pemerataan penerangan yang maksimal, maka dapat dilihat pada gambar sudut kemiringan tiang berikut:[8]



Gambar 2.3 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.

W_1 = jarak dari tiang penerangan ke ujung penerangan.

W_2 = jarak dari ujung penerangan ke ujung perkerasan jalan.

Untuk menentukan sudut kemiringan stang ornament dapat menggunakan persamaan berikut:

$$t = \sqrt{h^2 + c^2} \quad (2.7)$$

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:[8]

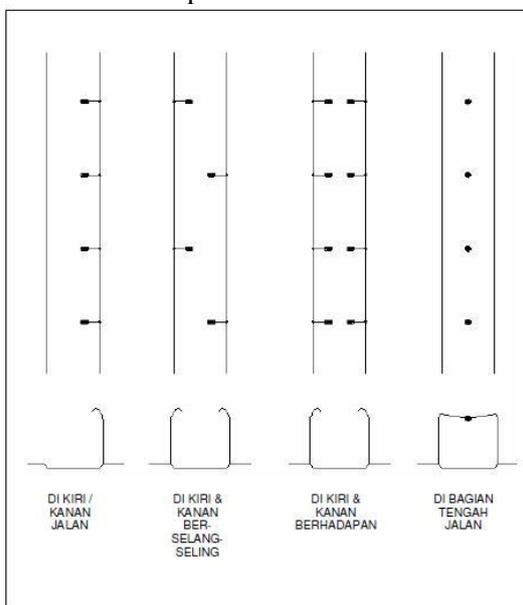
$$\cos \cos \theta = \frac{h}{t} \tag{2.8}$$

Dimana “θ” merupakan sudut kemiringan stang ornament.

12.6 Sistem Penataan Penerangan Jalan Umum (PJU)

Terdapat beberapa Teknik atau metoda dalam penataan penerangan jalan umum, yaitu seperti berikut:

1. Jalan Satu Jalur
 - a. Jalur lampu satu sisi
 - b. Jalur lampu zig – zag
 - c. Berhadapan
2. Jalan Dua Jalur
 - a. Jalur tengah dengan luminer ganda dan tepi dibuat berhadapan
 - b. Kombinasi jalur tengah dan berhadapan.



Gambar 2.4 Sistem penataan penerangan jalan umum

Sumber: Badan Standarisasi Nasional 2008

12.7 Dasar Pencahayaan

dasar pencahayaan merupakan patokan awal yang digunakan dalam perancangan atau perencanaan sebuah sistem pencahayaan. Berikut merupakan tabel standar nasional mengenai pencahayaan:

Tabel 2.1 Standar pencahayaan jalan

Jenis/klasifikasi jalan	Kuat pencahayaan (luminansi)		Luminansi		Batasan silau		
	E rata-rata (lux)	Kemerataan (Uniformity) g1	L rata-rata (cd/m2)	Kemerataan (uniformity)		G	TJ (%)
				VD	VI		
Trottoar	1-4	0,10	0,10	0,40	0,50	4	20
Jalan lokal : - Primer - Sekunder	2-5 2-5	0,10 0,10	0,50 0,50	0,40 0,40	0,50 0,50	4 4	20 20
Jalan kolektor : - Primer - Sekunder	3-7 3-7	0,14 0,14	1,00 1,00	0,40 0,40	0,50 0,50	4-5 4-5	20 20
Jalan arteri : - Primer - Sekunder	11-20 11-20	0,14-0,20 0,14-0,20	1,50 1,50	0,40 0,40	0,50-0,70 0,50-0,70	5-6 5-6	10-20 10-20
Jalan arteri dengan akses kontrol, jalan bebas hambatan	15-20	0,14-0,20	1,50	0,40	0,50-0,70	5-6	10-20
Jalan layang, simpang susun, terowongan	20-25	0,20	2,00	0,40	0,70	6	10

Keterangan :
 g1 : E min/E maks
 VD : L min/L maks
 VI : L min/L rata-rata
 G : Silau (glare)
 TJ : Batas ambang kesalahan

Sumber: Badan Standarisasi Nasional 2008

Terdapat beberapa istilah dan rumus-rumus dalam merancang suatu sistem pencahayaan untuk menentukan sebuah sistem pencahayaan yang sesuai dengan standar dana efisien berikut ini merupakan istilah dan rumus yang biasa ditemui dalam dasar pencahayaan:[9]

1. Fluks Cahaya

Fluks cahaya adalah jumlah cahaya yang dipancarkan oleh sumber cahaya. Lambing dari fluks cahaya adalah F/Φ dan satuannya adalah lumen (lm). Untuk menghitung intensitas cahaya dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\Phi = \omega \cdot I \tag{2.9}$$

Dimana :

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

Dari persamaan fluks cahaya diatas maka didapat persamaan intensitas cahaya berikut:

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \tag{2.10}$$

Dimana:

- I = intensitas cahaya (cd)
- Φ = fluks cahaya (lumen)
- ω = sudut ruang dalam steradian (sr)
- ω = 4π

2. Intensitas Penerangan (Iluminasi)

Intensitas penerangan atau iluminasi atau kuat penerangan adalah fluks cahaya yang jatuh pada suatu bidang atau permukaan. Satuan intensitas penerangan adalah lumen/m² (Lux) atau 1 lux = 1 lumen/m². Jika suatu bidang yang luasnya A m², diterangi dengan Φ lumen. Untuk menghitung intensitas penerangan atau kuat pencahayaan atau iluminasi dapat menggunakan persamaan berikut:

$$E_{rata-rata} = \frac{\Phi \cdot \eta \cdot MF}{W \cdot S} \tag{2.11}$$

Dimana :

E_{rata-rata} = iluminasi rata-rata dalam lux(lx)

Φ = fluks cahaya (lumen)

η = faktor utilitas

MF = maintenance faktor/Light loss Factor

W = lebar jalan (m)

S = jarak antar tiang (m)

Untuk menghitung besar iluminasi pada titik/koordinat tertentu digunakan rumus sebagai berikut:

$$E = \frac{1}{r^2} \cos \theta \tag{2.12}$$

Dimana r adalah jarak dari titik pencahayaan ke titik P (titik yang diukur tingkat iluminasi)

3. Luminasi (L)

Luminasi adalah besarnya intensitas cahaya per satuan luas. Merupakan ukuran terang suatu benda. Luminasi yang terlalu besar akan menyilaukan pandangan mata. Dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$L = \frac{I}{A_s} \tag{2.13}$$

Dimana:

L = luminasi (cd/m²)

I = intensitas (cd)

A_s = luas semua permukaan (m²)

Dengan

$$A_s = A \cos \theta$$

Sehingga didapat persamaan berikut:

$$L = \frac{I}{A \cos \theta} \tag{2.14}$$

4. Efikasi

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

$$K = \frac{\Phi}{P} \tag{2.15}$$

Dimana:

K = efikasi cahaya (lm/watt)

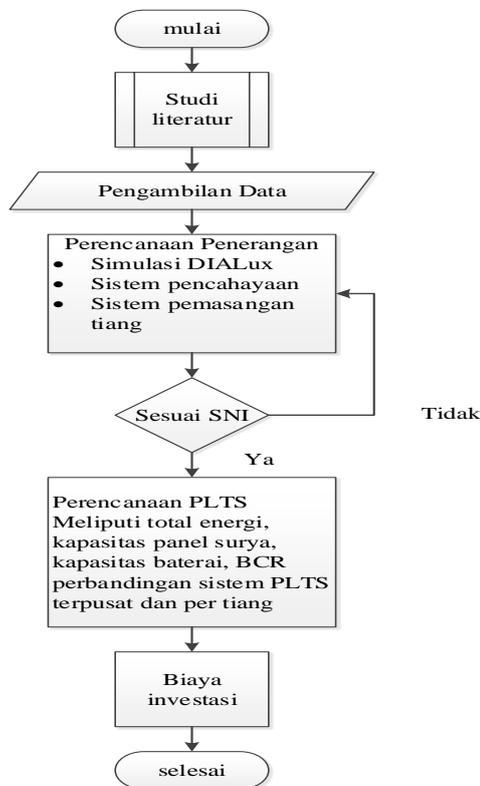
Φ = fluks cahaya (lm)

P = daya listrik (watt)

III. PERENCANAAN PJUTS DAN SIMULASI DIALux

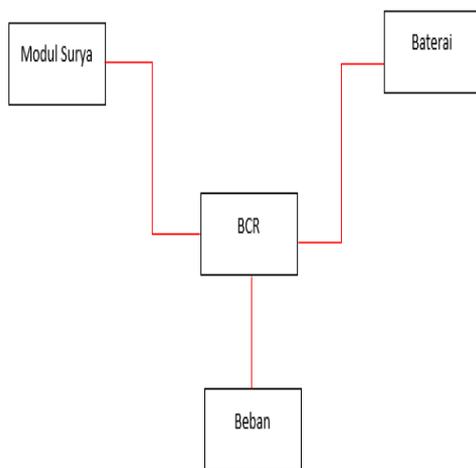
13.1 Diagram Alir

Dalam penelitian tugas akhir ini diperlukan adanya flow chart diagram yang bertujuan untuk memudahkan dalam proses perencanaan penerangan jalan umum tenaga surya. Berikut merupakan gambar flow chart diagram:



Gambar 3.1 flowchart diagram

3.2 Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya



Gambar 3.2 Diagram PJUTS

Gambar diatas merupakan gambar blok diagram dari penerangan jalan umum tenaga surya (PJUTS) dengan sumber energi dari radiasi matahari. Cahaya matahari akan diserap oleh modul surya kemudian akan dikonversikan menjadi energi listrik. Arus yang dihasilkan oleh modul surya adalah arus DC atau arus searah. Arus yang dihasilkan oleh modul surya akan disimpan pada baterai melalui BCR. BCR akan berfungsi sebagai kontrol utama dalam pendistribusian energi.

Pada kondisi malam hari baterai akan mengalirkan energi ke beban lampu melalui BCR. Sistem ini akan bekerja selama 12 jam dalam 1 hari. Untuk membuat lampu menyala secara otomatis akan dipasang sensor cahaya berupa *light dependent resistor* (LDR).

3.3 Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini akan diambil lokasi di jalan Kolonel Masturi Cimahi yang memiliki panjang lintasan 3950 meter dengan lebar jalan 5 meter. Penerangan jalan di jalan Kolonel Masturi Cimahi masih menggunakan sumber dari PLN atau penerangan jalan konvensional. Terdapat titik-titik yang tidak terdapat lampu penerangan serta terdapat titik-titik lampu yang tidak berfungsi atau rusak.

3.4 Data Yang Dibutuhkan

Data yang dibutuhkan merupakan data yang diambil dari hasil survey lapangan serta data dari kementerian perhubungan darat. Berikut adalah data yang dibutuhkan:

- a. Kondisi jalan
- b. Panjang jalan
- c. Lebar jalan perkerasan
- d. Lebar jalan di luar perkerasan

Data-data diatas kemudian akan diolah menggunakan rumus-rumus dan simulasi software DIALux untuk perencanaan penerangan jalan umum tenaga surya.

3.5 Simulasi DIALux

Simulasi DIALux dibutuhkan untuk membantu perencanaan penerangan jalan umum. Dengan menggunakan software DIALux akan menghasilkan visualisasi 3D dan 2D serta analisa pencahayaan. Berikut adalah cara menggunakan software DIALux:

- a. Membuka software DIALux kemudian pilih street lighting untuk design penerangan jalan.
- b. Masukkan data jalan berupa lebar jalan perkerasan serta lebar diluar perkerasan jalan.
- c. Pilih luminaire selection kemudian pilih katalog lampu yang akan digunakan.
- d. Pilih add road luminaire arrangement kemudian masukan tinggi tiang, jarak antar tiang, sudut kemiringan stang ornament.
- e. Pilih sistem penempatan tiang lampu.
- f. Pilih document untuk melihat hasil analisa dari simulasi DIALux.
- g. Hasil analisa berupa tabel yaitu tabel intensitas penerangan pada titik-titik tertentu.

3.6 Perhitungan dan Analisa

1. Perhitungan sistem penerangan meliputi fluks cahaya, intensitas penerangan, intensitas pencahayaan, tinggi tiang dan jarak antara tiang.
2. Perhitungan PLTS meliputi total energi yang dibutuhkan, kapasitas panel, kapasitas baterai, kapasitas BCR. Kemudian akan dibandingkan sistem PLTS mandiri dan sistem PLTS terpusat.
3. Perhitungan biaya investasi yang diperlukan untuk PJUTS. Kemudian akan dibandingkan biaya investasi antara sistem mandiri dengan sistem terpusat.

IV. PERHITUNGAN DAN ANALISA

4.1 Penentuan Spesifikasi Penerangan Jalan

4.1.1 Data Teknis

Jalan yang dijadikan studi kasus dalam penelitian tugas akhir ini adalah jalan Kolonel

Masturi kota Cimahi, Jawa Barat. Jalan Kolonel Masturi ini merupakan jalan penghubung antara kota Cimahi dan Kota Bandung bagian utara. Kondisi penerangan jalan pada malam hari tidak terlalu baik dikarenakan penerangan yang tidak merata serta terdapat beberapa titik lampu yang tidak berfungsi, dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.1 Kondisi jalan pada siang hari



Gambar 4.2 Kondisi jalan pada malam hari

Berikut ini data teknis jalan Kolonel Masturi menurut dinas perhubungan darat Kota Cimahi:

Tabel 4.1 data teknis jalan

Keterangan	Spesifikasi
Nama jalan	Jl. Kolonel Masturi
Panjang jalan	3950 M
Lebar jalan	5 M
Lebar bahu jalan	0,6 M
Jumlah lajur	2 lajur
Status jalan	Provinsi
Fungsi jalan	Kolektor
Kelas jalan	Primer

4.1.2 Perhitungan Kemiringan Stang Ornament

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

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

$$t = \sqrt{7^2 + 1,5^2}$$

$$t = 7,158$$

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

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

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

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

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

4.1.3 Perhitungan Intensitas Cahaya

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

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

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

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

Maka intensitas cahaya yang didapat pada tiap-tiap lampu penerangan jalan yaitu sebesar 238,73 candela (cd).

4.1.4 Perhitungan Intensitas Penerangan

Untuk menghitung intensitas penerangan rata-rata menggunakan persamaan (3.5)

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

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:

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

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

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

Untuk mengetahui iluminasi pada suatu titik/koordinat (P) digunakan persamaan (3.6):

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \cos \varphi$$

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 maka masukan ke persamaan menjadi:

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \cos \varphi$$

$$E = \frac{238,73}{8,06^2} \circ$$

$$E = 3,59 \text{ lux}$$

Sehingga didapat nilai iluminasi pada titik/koordinat di ujung jalan perkerasan sebesar 3,59 lux.

4.1.5 Perhitungan Luminasi

Untuk menghitung besarnya luminasi (L) pada lampu LED maka digunakan persamaan:

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

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

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

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

$$L = 1,95$$

Sehingga didapat untuk besarnya luminasi pada tiap-tiap lampu LED yang terpasang yaitu sebesar 1,95 (cd/m^2)

4.1.6 Perhitungan Efikasi

Efikasi cahaya dengan satuan lumen/watt pada perancangan penerangan jalan umum ini dapat dihitung menggunakan persamaan:

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

dengan parameter yang sudah didapat dari perhitungan sebelumnya yaitu fluks cahaya $\Phi = 3000$ Lumen dan daya lampu LED yang digunakan sebesar 24 Watt maka:

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

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

$$K = 125 \text{ lumen/watt}$$

Sehingga efikasi cahaya yang didapat pada lampu LED yang terpasang pada masing-masing tiang penerangan jalan yaitu sebesar 125 Lumen/watt.

4.1.7 Perhitungan Titik Penerangan

Menentukan jumlah titik lampu yang diperlukan pada penerangan jalan umum tenaga surya di jl. Kolonel Masturi Cimahi menggunakan persamaan

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

Jl. Kolonel Masturi Cimahi dengan panjang lintasan jalan 3.950 m atau 3,95 km serta jarak antar tiang yang sudah dihitung sebesar 25 m maka:

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

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

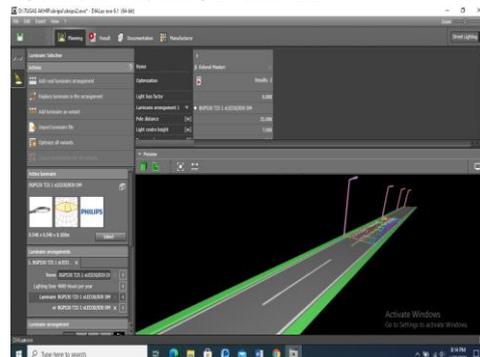
$$T = 158 \text{ titik}$$

Sehingga banyaknya titik lampu yang diperlukan pada jalan Kolonel Masturi Cimahi yaitu sebanyak 158 Titik lampu.

4.1.8 Simulasi DIALux

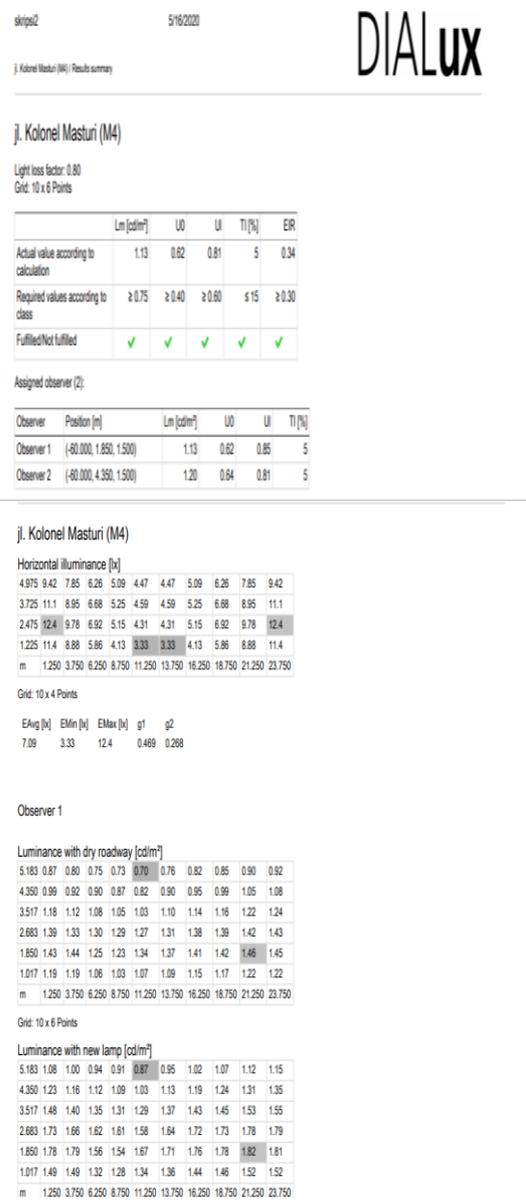
Dengan bantuan software DIALux ini mempermudah serta dapat menambahkan informasi informasi lain yang belum didapatkan dari hasil perhitungan yaitu seperti E_{maks} , E_{min} , pemerataan pencahayaan (Uniformity) serta gambar visual 3D dari hasil perancangan. Dapat dilihat dari hasil simulasi DIALux berikut:

1. Gambar visual 3D dan 2D



Gambar 4.1 Visualisasi 3D DIALux

2. Tabel hasil simulasi Dialux



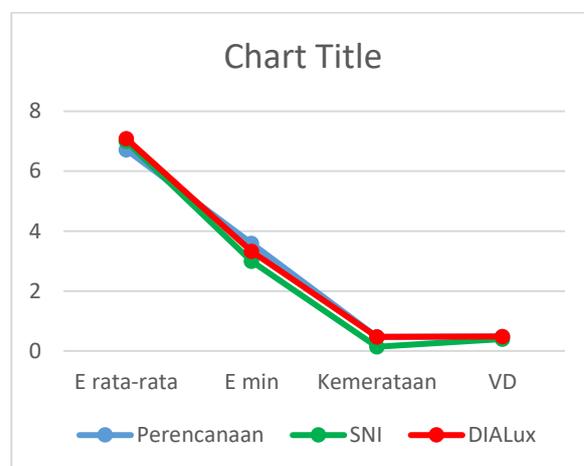
Gambar 4.2 Hasil Simulasi DIALux

4.1.9 Analisa Perencanaan Dan SNI

Untuk memastikan perancangan penerangan jalan umum pada penelitian ini sesuai dengan standar yang berlaku maka diperlukannya analisis hasil perencanaan dengan standar nasional yang sudah ditetapkan di Indonesia. Berikut perbandingan hasil perencanaan secara manual, menggunakan software DIALux dan Standar Nasional Indonesia (SNI)

Tabel 4.2 perbandingan hasil perancangan dan SNI

Parameter	Perhitungan	SNI	DIALux
E rata-rata	6,72 lux	3-7 lux	7,09 lux
E min	3,59 lux	3 lux	3,33 lux
L rata-rata	1,95 cd/m ²	1,00 cd/m ²	1,13 cd/m ²
Kemerataan	0,469	0,14	0,469
L maks	1,98 cd/m ²	-	1,82
L min	0,96 cd/m ²	-	0,87
VD	0,484	0,40	0,478
VI	0,50	0,50	-



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan

4.2 Penentuan Spesifikasi Tenaga Surya

4.2.1 Perhitungan Kebutuhan Energi

Pada penelitian tugas akhir ini besar daya yang digunakan adalah sebesar 24 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 adalah:

$$E_T = P_L \times t$$

$$E_T = 24 \times 36 \text{ jam}$$

$$E_T = 864 \text{ Watt}$$

4.2.2 Perhitungan Kapasitas Modul Surya

Penentuan kapasitas daya panel surya diambil berdasarkan harga terendah insolasi matahari. Berikut adalah data insolasi matahari untuk wilayah Bandung dan sekitarnya selama 1 tahun:

Bandung, Indonesia - Solar energy and surface meteorology

Variable	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Insolation, kWh/m ² /day	4.31	4.58	5.03	5.01	4.85	4.67	4.97	5.53	5.95	5.69	5.05	4.72
Clearness, 0 - 1	0.40	0.43	0.48	0.51	0.54	0.55	0.57	0.59	0.59	0.54	0.48	0.45
Temperature, °C	25.39	25.44	25.67	25.88	25.74	25.48	25.28	25.55	25.80	25.77	25.48	25.40
Wind speed, m/s	3.61	3.67	2.83	3.15	4.28	4.77	5.64	5.65	4.96	3.76	3.19	2.89
Precipitation, mm	253	216	266	285	208	81	70	57	104	196	283	306
Wet days, d	18.6	16.0	17.3	16.7	14.7	12.5	9.6	9.3	9.5	12.7	17.7	19.3

Gambar 4.3 insolasi matahari

Berdasarkan data insolasi matahari didapat harga terendah insolasi matahari yaitu 4,31 kWh/m²/day. Maka kapasitas panel surya adalah:

$$Kapasitas\ panel = \frac{E_T}{insolasi} \times 1,1$$

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

$$Kapasitas\ total\ panel = 220,5\ Wp$$

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 yaitu:

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

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

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

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 adalah:

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

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

$$\sum\ modul = 0,98 \approx 1\ unit$$

4.2.3 Perhitungan Baterai

Jumlah baterai dan kapasitas baterai harus yang digunakan harus bisa menampung energi total yang diperlukan. Satuan kapasitas sebuah baterai adalah Ah sedangkan satuan energi yaitu Wh maka menentukan kapasitas baterai harus dibagi dengan tegangan sistem sebesar :

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

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

$$I_{Ah} = 72\ Ah$$

Dengan mempertimbangkan faktor DOD (*depth of discharge*) maka kapasitas baterai yang diperlukan adalah:

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

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

$$I_{Ah\ total} = 90\ Ah$$

Jika menggunakan baterai dengan kapasitas 100Ah, 12V maka jumlah baterai yang diperlukan pada satu tiang penerangan jalan umum adalah:

$$\Sigma_{baterai} = \frac{I_{Ah\ total}}{kapasitas\ baterai\ per\ -\ unit}$$

$$\Sigma_{baterai} = \frac{90}{100}$$

$$\Sigma_{baterai} = 0,9 \approx 1\ unit$$

4.2.4 Perhitungan BCR

BCR memiliki fungsi sebagai titik pusat sambungan ke beban, panel surya serta baterai. Maka arus maksimum pada BCR adalah:

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

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

$$I_{BCR} = 2\ A$$

4.2.5 Biaya Investasi

Tabel 4.3 biaya investasi per titik

Jenis Material	Banyak	Harga Satuan	Total
Tiang stang ornament	+	1	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
BCR	1	347.000	347.000
MCB	1	170.000	170.000
Kabel	4 m	4.500	18.000

Jenis Material	Banyak	Harga Satuan	Total
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:

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

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

$$Biaya\ total = Rp\ 1.224.500.000$$

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

4.3 Perhitungan Tenaga Surya Sistem Terpusat

4.3.1 Perhitungan Kebutuhan Energi Sistem Terpusat

Dengan menggunakan perhitungan kebutuhan energi per tiang lampu penerangan jalan didapat nilai energi total sebesar 864 watt. Maka untuk menentukan jumlah energi keseluruhan dikalikan dengan 158 titik sebagai berikut:

$$E_{keseluruhan} = E_T \times 158$$

$$E_{keseluruhan} = 864 \times 158$$

$$E_T = 136512\ Watt$$

4.3.2 Perhitungan Kapasitas Modul Surya

Berdasarkan data insolasi matahari didapat harga terendah insolasi matahari yaitu 4,31 kWh/m²/day. Maka kapasitas panel surya adalah:

$$Kapasitas\ panel = \frac{E_{keseluruhan}}{insolasi} \times 1,1$$

$$Kapasitas\ panel = \frac{136512}{4,31} \times 1,1$$

$$Kapasitas\ total\ panel = 34840,65\ Wp$$

Modul surya yang akan digunakan yaitu modul surya dengan kapasitas 300 Wp. Rata-rata penyinaran matahari dalam 1 hari yaitu 8 jam. Dengan asumsi penyinaran matahari selama 3 jam maka energi yang dihasilkan panel surya yaitu:

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

$$E_{modul} = 300\ Wp \times 3\ h$$

$$E_{modul} = 900\ Wh$$

Dengan kapasitas modul 300 Wp dan lama penyinaran 3 jam maka dihasilkan energi sebesar 900 Wh. Jumlah panel surya yang dibutuhkan pada sistem terpusat ini adalah:

$$\Sigma\ modul = \frac{kapasitas\ total\ panel}{E_{Modul}}$$

$$\Sigma\ modul = \frac{34840,65}{900}$$

$$\Sigma\ modul = 38,71 \approx 39\ unit$$

4.3.3 Perhitungan Baterai

Satuan kapasitas sebuah baterai adalah Ah sedangkan satuan energi yaitu Wh maka menentukan kapasitas baterai harus dibagi dengan tegangan sistem sebesar :

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

$$I_{Ah} = \frac{136512}{48}$$

$$I_{Ah} = 2844\ Ah$$

Dengan mempertimbangkan faktor DOD (*depth of discharge*) maka kapasitas baterai yang diperlukan adalah:

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

$$I_{Ah\ total} = \frac{2844}{80\%}$$

$$I_{Ah\ total} = 3555\ Ah$$

Untuk memasok listrik selama 36 jam (termasuk back up) kapasitas baterai yang diperlukan yaitu sebesar 3555 Ah. Jika menggunakan baterai dengan kapasitas 100 Ah, 48 V maka jumlah baterai yang diperlukan yaitu:

$$\Sigma_{baterai} = \frac{I_{Ah\ total}}{kapasitas\ baterai\ per\ unit}$$

$$\Sigma_{baterai} = \frac{3555}{100}$$

$$\Sigma_{baterai} = 35,55 \approx 36\ unit$$

4.3.4 Perhitungan BCR

BCR memiliki fungsi sebagai titik pusat sambungan ke beban, panel surya serta baterai.. Maka arus maksimum pada BCR adalah:

$$I_{BCR} = \frac{P_{total}}{V_s}$$

$$I_{BCR} = \frac{24 \times 158}{48}$$

$I_{BCR} = 79 \text{ A}$

4.3.5 Biaya Investasi

Tabel 4.4 biaya investasi sistem terpusat

Jenis Material	Banyak	Harga Satuan	Total
Tiang + stang ornament	158	2.400.000	379.200.000
Panel surya	39	4.567.000	178.113.000
Baterai	36	8.500.000	306.000.000
LED + rumah lampu + sensor	158	225.000	35.550.000
BCR	1	6.395.000	6.395.000
MCB	158	170.000	26.860.000
DC converter	3	3.300.000	9.900.000
Biaya pemasangan tiang	158	1.465.000	231.470.000
Biaya Investasi			1.173.488.000

Biaya yang harus dikeluarkan untuk sistem PJUTS dengan sistem terpusat ini yaitu Rp 1.173.488.000. Biaya tersebut belum termasuk dengan kabel, biaya pembebasan lahan serta biaya pembuatan bangunan untuk ruang kontrol PLTS.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian tugas akhir ini yang berjudul dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil dari penelitian ini sudah sesuai dengan SNI yang berlaku. Terdapat sedikit perbedaan antara hasil perhitungan dan hasil simulasi dikarenakan nilai MF dan nilai faktor utilitas tidak diketahui nilai sebenarnya maka koefisien yang dimasukan adalah nilai asumsi bukan nilai

sebenarnya. Perbedaan hasil juga disebabkan akibat pembulatan pada perhitungan.

2. 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.
3. 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.
4. Sistem terpusat memiliki nilai investasi lebih rendah dibanding sistem mandiri dari segi elektrikal, namun sistem terpusat memerlukan lahan yang cukup luas untuk menyimpan PLTS. Hal ini akan mengakibatkan dengan sistem terpusat akan jauh lebih mahal jika dihitung total investasi keseluruhan serta akan lebih membutuhkan biaya perawatan yang lebih besar dibanding dengan sistem mandiri. Oleh karena itu untuk PJUTS dengan sistem mandiri akan lebih efisien dibandingkan dengan sistem terpusat.

5.2 Saran

1. Penelitian ini tidak memiliki back-up lain sehingga ketika dalam waktu 3 hari secara berturut – turut tidak terkena sinar matahari maka lampu penerangan ini tidak akan bisa menyala. Oleh sebab itu dapat disempurnakan/ditambahkan dengan menambahkan back up dari pembangkit listrik lain sehingga menjadi pembangkit hybrid.
2. Dalam penelitian ini hanya sampai biaya investasi penerangan jalan umum tenaga surya. Untuk penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan analisis biaya ekonomi dengan membandingkan dengan penerangan jalan umum konvensional dalam kurun waktu tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Putri Sundari, dkk, "Proposal Instalasi Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (Pjuts) Jalan Tol Probolinggo Banyuwangi", Fakultas Teknik Mesin Dan Dirgantara Institut Teknologi Bandung, 2017.

- [2] Quashning, Volker, "understanding Renewable Energy Systems", London: Sterling, VA, 2005.
- [3] Messenger, A Roger. Ventre, Jerry, Photovoltaic Systems Engineering, Second Edition, CRC Press, 2003.
- [4] Aziz, Abdul, "Perencanaan Pembangkit Listrik Hibrida Plts - Generator Bbm Dengan Kapasitas 3000 Va ", Institut Teknologi Nasional Bandung, 2016.
- [5] Anhar, w; dkk, "Perhitungan Lampu Penerangan Jalan Berbasis Solar System", Jurnal Sains Terapan, vol. vol 4 no.1, 2018.
- [6] Warsiyanto, E, "Prototipe Solar Dryer Portable Untuk Rumput Laut Dengan PLTS Berbasis Mikrokontroler".
- [7] 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.
- [8] Effendi, Asnal; M, Aldifian, "Perencanaan Penerangan Jalan Umum Jalan Lingkar Utara Kota Solok", *Jurnal Teknik Elektro ITP*, Vols. Vol 1, No 2, 2012.
- [9] Kusumayogo, Engga dkk, "Analisis Teknis Dan Ekonomis Penerapan Penerangan Jalan Umum Solar Cell Untuk Kebutuhan Penerangan Di Jalan Tol Darmo Surabaya," 2013.