

ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS PENERAPAN PENERANGAN JALAN UMUM *SOLAR CELL* UNTUK KEBUTUHAN PENERANGAN DI JALAN TOL DARMO SURABAYA

Engga Kusumayogo¹, Unggul Wibawa, Ir., M.Sc.², Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D³

¹Mahasiswa Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: Enggakusumayogo@gmail.com

Abstract- The energy crisis is a fundamental problem in Indonesia, particularly the problem of electrical energy crisis. Electrical energy is the energy that is necessary for modern man. In the event of a power outage, many activities will be halted immediately.

Solar energy is one of the main expectations as a natural energy source that can hardly be said to be exhausted. Solar cell is a panel consisting of multiple and diverse cell types. The use of solar cell has been widely used in developing countries and developed countries where the beneficiaries are not only small in scope, but has been widely used for industrial and street lighting so that solar energy can be used as an alternative energy source specified. In this paper will be made on technical and economic analysis of solar cell PJU lighting for lighting needs in darmo Surabaya toll road.

Keywords : PJU, lamp, power

Abstrak- Krisis energi adalah masalah yang sangat fundamental di Indonesia khususnya masalah krisis energi listrik. Energi listrik merupakan energi yang sangat diperlukan bagi manusia modern. Pada saat terjadi pemadaman listrik, maka banyak kegiatan akan terhenti seketika.

Sumber energi matahari merupakan salah satu harapan utama sebagai sumber energi alam yang hampir dapat dikatakan tidak akan habis. Solar cell merupakan suatu panel yang terdiri dari beberapa sel dan beragam jenis. Penggunaan solar cell ini telah banyak digunakan di Negara-negara berkembang dan negara maju dimana pemanfaatnya tidak hanya pada lingkup yang kecil, tetapi sudah banyak digunakan untuk keperluan industri dan penerangan jalan umum sehingga energi matahari dapat dijadikan sebagai sumber energi alternatif tertentu. Dalam skripsi ini akan di lakukan analisis teknis dan ekonomis penerangan PJU solar cell untuk kebutuhan penerangan di jalan tol darmo Surabaya.

Kata kunci : PJU, lampu, daya

I. PENDAHULUAN

Kota surabaya sebagai ibu kota provinsi Jawa Timur yang terletak di tepi pantai utara provinsi

Jawa Timur atau tepatnya berada pada diantara $7^{\circ} 9' - 7^{\circ} 21'$ lintang selatan dan $112^{\circ} 36' - 112^{\circ} 54'$ bujur timur. Di Surabaya ini juga terdapat Jalan Tol Darmo yang PJU-nya mengalami perubahan. PJU pada Jalan Tol Darmo Surabaya ini dilakukan perubahan dengan mengganti PJU biasa yang memakai lampu merkuri dengan sistem baru yaitu menggunakan sollar cell dimana lampu sudah menggunakan LED.

Jalan Tol Darmo merupakan jalan akses keluar Tol yang menghubungkan arah Mayjend Sungkono Surabaya. Jalan PJU yang akan diganti pada Jalan Tol Darmo sepanjang 750 meter. Berikut ini adalah gambar yang menunjukkan Jalan Tol Darmo beserta PJU setelah diganti dengan menggunakan sollar cell.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Lampu Penerangan Jalan

Lampu penerangan jalan merupakan (a) bagian dari bangunan pelengkap jalan yang dapat diletakkan atau dipasang di kiri atau kanan jalan dan atau di tengah (di bagian median jalan) yang digunakan untuk menerangi jalan maupun lingkungan di sekitar jalan yang diperlukan termasuk persimpangan jalan, jalan layang, jembatan dan jalan di bawah tanah; (b) suatu unit lengkap yang terdiri dari sumber cahaya, elemen optik, elemen elektrik dan struktur penopang serta pondasi tiang lampu.

a. Struktur Lampu Penerangan Jalan Umum

Berdasarkan jenis sumber cahaya, lampu penerangan jalan umum dapat pula dibedakan atas 2 (dua) macam yaitu lampu merkuri dan lampu sodium.



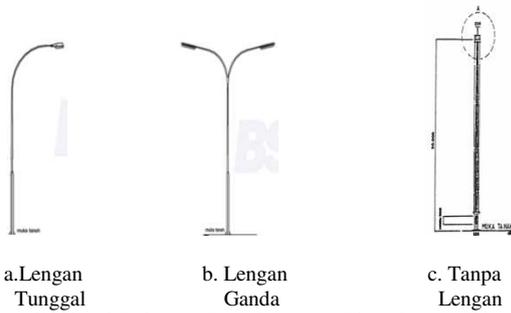
a. Lampu Merkuri b. Lampu Sodium

Gambar 1 Contoh Lampu Merkuri dan Sodium
Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1991

b. Tiang Lampu Penerangan Jalan

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

dan tiang octagonal. Berdasarkan bentuk lengannya (stang ornamen), tiang lampu jalan dapat dibagi menjadi 3, berikut contohnya:



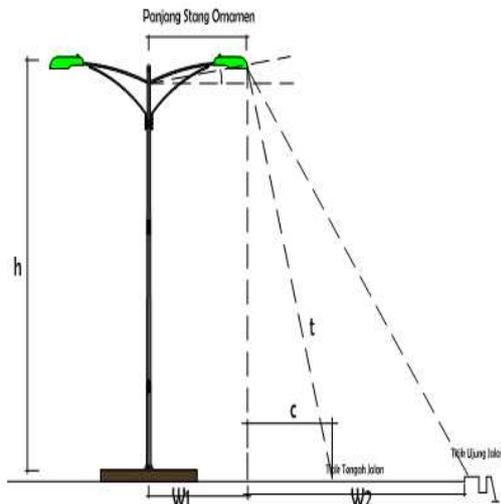
Gambar 2 Beberapa Bentuk Lengan Tiang Lampu Jalan
Sumber : SNI 7391, 2008

Untuk menentukan sudut kemiringan stang ornamen, agar titik penerangan mengarah ketengah-tengah jalan, maka :

$$T = \sqrt{h^2 + c^2} \quad (1)$$

Sehingga :

$$\cos \varphi = \frac{h}{t} \quad (2)$$



Gambar 3 Penentuan sudut kemiringan stang ornamen terhadap lebar jalan
Sumber : SNI 7391, 2008

Dimana :

- h :tinggi tiang
- t :jarak lampu ke tengah-tengah jalan
- c :jarak horizontal lampu-tengah jalan
- W1 :tiang ke ujung lampu
- W2 :jarak horizontal lampu ke ujung jalan

B. Jalan

Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas yang berada pada permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan atau air, kecuali jalan kereta api, jalan lori dan jalan kabel. Terdapat beberapa jenis jalan yaitu :

- a. Jalan Arteri
- b. Jalan Kolektor
- c. Jalan Lokal

C. Dasar Pencahayaan

a. Fluks Cahaya

Fluks cahaya adalah seluruh jumlah cahaya yang dipancarkan dalam satu detik.

$$\Phi = \omega I \quad (3)$$

- Dimana : Φ : fluks cahaya (lm)
- ω : sudut ruang dalam steredian (sr)
- I : intensitas cahaya (Cd)

b. Intensitas Penerangan

Intensitas penerangan atau iluminasi di suatu bidang adalah fluks cahaya yang jatuh pada 1 meter² dari bidang itu.

$$E_{rata-rata} = \frac{\Phi}{A} \quad (4)$$

- Dimana : E : intensitas penerangan (lux)
- Φ : fluks cahaya dalam lumen (lm)
- A : luas bidang (m²)

c. Luminasi

Luminasi adalah suatu ukuran untuk terang suatu benda. Luminasi yang terlalu besar akan menyilaukan mata.

$$L = \frac{I}{A_s} \quad (5)$$

- Dimana : L : luminasi (cd/cm²)
- I : intensitas cahaya (cd)
- A_s : luas semu permukaan (cm²)

d. Efikasi

Efikasi cahaya merupakan hasil bagi antara fluks luminous dengan daya listrik masukan suatu sumber cahaya.

$$K = \frac{\Phi}{P} \quad (6)$$

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

e. Daya Lampu Total

$$P_{total} = P \times n \times \cos \varphi \quad (7)$$

Dimana :

- P_{total} : Daya lampu total (W)
- P : Daya lampu (W)
- N : Jumlah lampu per APP

f. Daya Lampu Tiap Bulan

$$P_{bulan} = P_{total} \times t \quad (8)$$

Dimana :

- P_{bulan} :Daya lampu total tiap bulan (kWh/bulan)
- P_{total} : Daya lampu total
- t : waktu nyala (jam/bulan)

g. Biaya Pemakaian

$$M = U \times P_{bulan} \quad (9)$$

Dimana :

- M : Biaya pemakaian tiap bulan (Rp/bulan)
- U : Tarif biaya pemakaian tiap bulan (Rp/kWh)
- P_{bulan} : Daya total lampu tiap bulan (W)

D. Prinsip Kerja Solar Cell

Sistem *photovoltaic* menghasilkan daya keluaran hanya pada saat modul *photovoltaic* disinari matahari, oleh karena itu sistem *photovoltaic* menggunakan mekanisme penyimpanan energi agar energi listrik selalu tersedia pada waktu matahari sudah tidak menyinari (malam hari). Baterai merupakan komponen yang digunakan untuk penyimpanan energi listrik yang dihasilkan *array photovoltaic*. Selain untuk media penyimpanan energi listrik, baterai juga digunakan untuk pengaturan sistem tegangan dan sumber arus yang dapat melebihi kemampuan *array photovoltaic*. (Messenger, 2004:47)

Aplikasi Solar Cell

Sebelum mendesain sistem energi alternatif yang memanfaatkan *solar cell* ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan yaitu :

- Pemakaian daya rata-rata selama 24 jam.
- Pemakaian daya rata-rata pada malam hari (terhitung dari nilainya sinar matahari yang mengenai *solar cell*).
- Pemakaian daya puncak.

Gambaran diatas memperlihatkan sistem energi listrik alternatif yang memanfaatkan sinar matahari. Pertimbangan-pertimbangan diatas digunakan untuk mengetahui spesifikasi komponen yang akan dipasang pada sistem tersebut, karena salah memilih komponen bisa menyebabkan sistem ini tidak bekerja dengan baik (mudah rusak/tidak maksimal).

Adapun tiap bagian antara lain yaitu :

- Solar cell*
- Switch Controller*
- Baterai
- Inverter*

E. Perhitungan Energi dan Biaya Listrik PLN Penerangan Jalan Umum

Tarif yang digunakan untuk lampu pada rumah menurut aturan Perusahaan Listrik Negara adalah termasuk golongan R1 dengan harga Rp 1385,- per kWh tanpa biaya beban , melainkan disebut RM atau Rekening Minimum yang harus dibayarkan. Perhitungannya. Tarif dasar untuk PJU adalah :

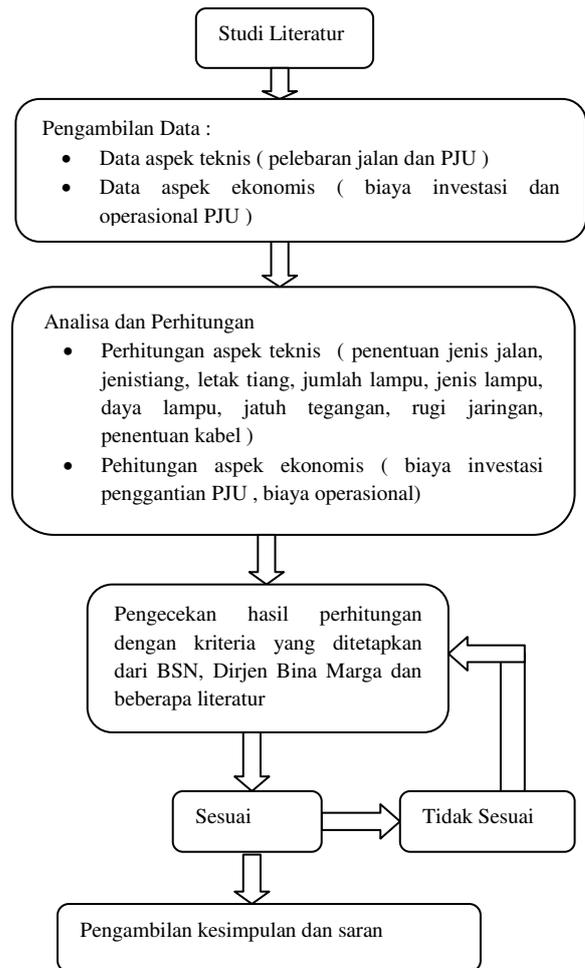
$$\text{Biaya Bulanan P1-TR} = \text{Biaya Beban} + ((\text{daya dipakai kVAh}) \times \text{Rp } 1385,-) \quad (10)$$

dengan biaya beban :

$$\text{RM1} = \text{jam menyala} \times \text{daya tersambung (kVA)} \times \text{Biaya pemakaian} \quad (11)$$

III. Metodologi Penelitian

A. Kerangka Utama



Gambar 4 Diagram alir penelitian
Sumber : Penulis

B. Lokasi Penelitian

Obyek penelitian pada skripsi ini adalah mencari dan menganalisa nilai ekonomisnya dari pergantian penerangan jalan umum (PJU) tanpa menggunakan *solar cell* menjadi yang menggunakan *solar cell* yang bertempat di TOL satelit raya darmo SURABAYA.

C. Data – Data Yang Dibutuhkan

Data yang diperlukan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah data sekunder. Data sekunder adalah data yang sudah tersedia. Data sekunder yang diperoleh adalah dari data penerangan jalan umum yang sebelumnya dan membandingkan dengan data penerangan jalan umum (PJU) setelah menggunakan *solar cell*.

D. Metode Pengambilan Data

- Studi Literatur yaitu dengan melakukan studi pustaka berkaitan dengan perencanaan lampu penerangan jalan.
- Pengambilan Data baik data tertulis maupun pengamatan langsung.

E. Perhitungan dan Analisis Data

1. Pada sisi teknis, hal yang dilakukan adalah penentuan desain PJU yang meliputi jenis tiang, jumlah titik, jenis lampu, dasar penerangan, pengaturan penerangan, pengertian *solar cell*, cara kerja *solar cell*.
2. Pada sisi ekonomis, hal yang dilakukan adalah penghitungan biaya penggantian PJU dan biaya operasional selama menyala selama satu bulan.

F. Penutup

Pada tahapan ini dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan data hasil perhitungan dan analisis, yaitu pergantian Penerangan Jalan Umum agar didapat hasil yang lebih baik dari segi teknis maupun ekonomis.

IV. Perhitungan dan Analisis

A. Umum

Di Surabaya ini juga terdapat Jalan Tol Darmo yang PJU-nya mengalami perubahan. PJU pada Jalan Tol Darmo Surabaya ini dilakukan perubahan dengan mengganti PJU biasa yang memakai lampu merkuri dengan sistem baru yaitu menggunakan solar cell dimana lampu sudah menggunakan LED.

B. Kondisi Eksisting

Jalan Tol Darmo merupakan jalan akses keluar Tol yang menghubungkan arah Mayjend Sungkono Surabaya. Jalan PJU yang akan diganti pada Jalan Tol Darmo sepanjang 750 meter.

C. Perencanaan Penerangan Jalan Umum

Sebelum dilakukan perhitungan dan analisis teknis, perlu dilakukan pengamatan di lapangan tentang kondisi penerangan jalan umum yang telah terpasang sebelumnya. Pada kondisi di lapangan, keadaan penerangan jalan umum yang terpasang memang dirasakan perlu diadakan penggantian selain alasan penghematan energi.

a. Tiang Lampu Jalan yang digunakan

Jalan Tol Darmo telah memiliki Penerangan Jalan Umum dengan tinggi tiang octagonal 7 meter dengan Jenis *Mercury* dan daya lampu 125 Watt. Panjang stang ornamen 1 meter dengan jarak antar tiang 40 meter.. Untuk menentukan sudut kemiringan stang ornamen dapat dihitung sebagai berikut :

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

$$= \sqrt{7^2 + 6.5^2} = 9,552 \text{ meter}$$

Maka :

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

$$= \frac{7}{9,552} = 0.732$$

$$\varphi = \cos^{-1} 0.732 = 42,94^\circ$$

Jadi didapat kemiringan stang ornament sebesar 42.94°

Berikut ini adalah tabel perbandingan tinggi tiang terhadap sudut kemiringan stang ornamen

dengan lebar jalan 7 meter dan panjang stang ornament 1 meter.

Tabel 1 Perbandingan tinggi tiang terhadap sudut kemiringan stang ornamen

No	Tinggi Tiang (meter)	Sudut Stang Ornamen (meter)
1	7	42.94 ⁰
2	8	39.10 ⁰
3	9	35.90 ⁰
4	10	33.07 ⁰
5	11	30.68 ⁰

Berdasarkan tabel diatas, diperoleh bahwa semakin tinggi tiang yang digunakan, maka sudut stang ornamen diperoleh semakin kecil. Artinya jika semakin tinggi tiang yang digunakan, maka cahaya yang dihasilkan lebih menyebar.

b. Menghitung Intensitas Cahaya (i dalam candela/cd)

$$I = \frac{\phi}{\omega}, \omega = 4\pi$$

dimana :

$$K = \frac{\phi}{P} \text{ dan } \phi = KxP$$

Sehingga : $I = \frac{K.P}{\omega}$

Besarnya K (efikasi cahaya) rata-rata lampu sodium sebesar 80 lm/watt, dengan daya 125 Watt dan besarnya sudut ruang $\omega = 4\pi$, maka:

$$I = \frac{80.125}{4\pi}$$

$$= 796,178 \text{ Cd}$$

c. Menghitung Iluminasi pada Titik Ujung Jalan

Jarak lampu ke ujung jalan (r) :

$$r = \sqrt{7^2 + 13^2} = 14.76 \text{ meter}$$

$$E_B = \frac{I}{r^2} \cos \beta = \frac{796,178}{14.76^2} \times \frac{7}{14.76}$$

$$E_B = 1.72 \text{ lux}$$

Sesuai dengan SNI 7391, iluminasi yang diperoleh memenuhi syarat yang ditentukan .

Berikut ini tabel pengaruh variasi beberapa ketinggian tiang lampu jalan yang digunakan terhadap Iluminasi yang dihasilkan dengan data jalan seperti gambar diatas dan efisiensi lampu Sodium 80 lm/watt.

Tabel 2 Variasi Ketinggian Tiang Lampu terhadap Iluminasi yang Dihasilkan

No	Tinggi Tiang (meter)	Iluminasi (Lux)
1	7	1.72
2	8	1.79
3	9	1.78
4	10	1.77
5	11	1.76

Berikut ini tabel pengaruh variasi lebar jalan terhadap Iluminasi yang dihasilkan dengan tinggi tiang tetap 7 M.

Tabel 3 Variasi Lebar Jalan Terhadap Iluminasi yang Dihasilkan

No	Lebar Jalan (meter)	Illuminasi (Lux)
1	10	2.78
2	11	2.66
3	12	2.47
4	13	2.33

d. Jumlah Titik Lampu yang Diperlukan

Jumlah titik lampu dapat dihitung:

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

$$T = \frac{750}{40} + 1 = 19,75$$

Dikarenakan pada ujung jalan terdapat pertigaan dengan tipe lampu berbeda, maka titik lampu yang akan dilakukan penggantian hanya sebanyak 20 titik lampu.

e. Perhitungan Daya Listrik yang Dibutuhkan

Berdasarkan jumlah lampu, maka beban dibagi menjadi 6 panel distribusi. Jumlah daya mengalir pada tiap SDP adalah:

$$P = 125 \text{ watt} \times 40 \times \cos \phi = 4000 \text{ Watt}$$

f. Energi Listrik

Pukul 17.00 lampu menyala dan mati pada pukul 05.00, sehingga lampu beroperasi selama 12 jam. Energi yang terpakai pada PJU ini adalah :

$$W = (P \times t) / \cos \phi = (125 \times 20 \times 12) / 0,8 = 75 \text{ kWh perhari}$$

Dalam satu bulan energi yang dibutuhkan :

$$W/\text{bulan} = 75 \text{ kWh} \times 30 \text{ hari} = 2250 \text{ kWh}$$

D. Perhitungan Ekonomis

a. Perhitungan Tarif Listrik

Perhitungannya sebagai berikut :

$$P1/TR = \text{Biaya Beban} + ((\text{daya dipakai KVAh}) \times \text{Rp.1385})$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Beban RM1} &= 40 \text{ (jam menyala)} \times \text{daya tersambung (KVA)} \times \text{Biaya Pemakaian} \\ &= 40 \times 6,6 \text{ kVA} \times (1385) \\ &= 40 \times 6,6 \text{ kVA} \times (1385) \\ &= \text{Rp. 365.640,-} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Bulanan P1/TR} &= \text{Biaya Beban} + ((\text{daya dipakai KVAh}) \times \text{Rp.1385}) \\ &= \text{Rp. 365.640,-} + (2218,2 \text{ KVAh} \times \text{Rp.1.385}) \\ &= \text{Rp. 3.437.847,-} \end{aligned}$$

b. Biaya Investasi

Untuk dapat menentukan biaya investasi , maka harus dihitung berdasarkan komponen-komponen yang mengalami penggantian secara total.:

No	Barang	Deskripsi
1	Solar panels	SIP-135Wp 12Volt
2	Led lamp	LED 30WW-12V
3	Controlller Solar Amp Mini	8A

4	Baterai	150Ah/12Volt
5	Cable, Aecessories	NYAF 4mm,cable Glend, Cable Ties
6	Modul Support	
7	Box Battery	
8	Tiang	HDG OCTAGONAL, 6-7mtr
	Harga	Rp. 13.588.250

Maka biaya total investasi adalah
Rp. 13.588.250,- x 20 = Rp. 271.765.000,-

A. Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan perhitungan-perhitungan yang dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

Tiang yang digunakan adalah tiang besi octagonal dengan tinggi 7 meter dengan sudut kemiringan stang ornamen 42.94⁰. Jumlah tiang yang dibutuhkan adalah sebanyak 20 batang tiang dengan double stang ornamen sehingga jumlah lampu yg dibutuhkan sebanding yaitu 40 buah lampu dengan daya 125 Watt.

Intensitas Cahaya 796,178 Cd

Dengan Efikasi cahaya rata-rata lampu merkuri sebesar 80 lm/watt, dengan daya 125 Watt.

Aspek ekonomis meliputi biaya investasi penggantian komponen dan biaya operasional bulanan PJU. Total biaya investasi adalah meliputi 20 solar cell (Solar panels : SIP-135Wp 12Volt, Led lamp : LED 30WW-12V ,Controlller Solar Amp Mini : 8 A, Baterai : 150Ah/12Volt, Cable, Aecessories : NYAF 4mm,cable Glend, Cable Ties, Modul Support, Box Battery, Tiang : HDG OCTAGONAL, 6-7mtr). Yang berjumlah Rp. 13.588.250,- dengan biaya operasional per bulan = Rp 3.437.847,-

B. Saran

Untuk yang akan datang, dari tugas akhir ini, penulis menyarankan :

1. Tugas akhir ini dapat dijadikan acuan perencanaan Penerangan Jalan Umum Tol Darmo Surabaya..
2. Pemilihan jenis Solar cell agar diperhatikan pada merek Solar cell, karena perbedaan teknologi masing-masing produsen yang berpengaruh pada efisiensi penerangan dan tahan kuat.

Dari hasil penelitian, disarankan untuk dapatnya dilakukan dalam penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Badan Standarisasi Nasional, 2000. *SNI 6197 Konservasi Energi Sistem Pencahayaan Pada Bangunan Gedung*, Jakarta:BSN.

[2] Badan Standarisasi Nasional, 2003. *SNI 6967 Persyaratan Umum Sistem Jaringan dan Geometrik Jalan Perumahan*, Bandung:BSN

- [3] Badan Standarisasi Nasional, 2008. *SNI 7391 Spesifikasi Penerangan Jalan di Kawasan Perkotaan*, Jakarta:BSN.
- [4] Bien, LE, dkk. 2008. *Perancangan system Hibrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Jala-Jala Listrik PLN Untuk Rumah Perkotaan*. Jakarta: Teknik Elektro Universitas Trisakti.
- [5] Direktorat Jenderal Bina Marga, 1991. *Spesifikasi Lampu Penerangan Jalan Perkotaan*, Jakarta.
- [6] Hankins, Mark. 2010. *Stand-Alone Solar Electric Systems*. London: Earthscan.
- [7] Harten P.Van,1981. *Instalasi Arus Kuat 2*, Bandung: Bina Cipta
- [8] Kadir, Abdul 2000. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*. Cetakan Pertama, Jakarta : Universitas Indonesia (UI-Press).
- [9] Massenger, Roger A. dan Ventre, Jerry. 2004. *Photovoltaic Systems Engineering*. Second Edition. New York: CRC Press
- [10] Neidle, Michael,1991. *Teknologi Instalasi Listrik*, Erlangga.
- [11] Wibawa, Unggul, 2004. *Manajemen Industri- II*, Malang : Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.