

PERBANDINGAN TEKNIS DAN EKONOMIS PENGUNAAN PENERANGAN JALAN UMUM *SOLAR CELL* DENGAN PENERANGAN JALAN UMUM KONVENSIONAL

Daniel Bimbingan Limbong, Surya Tarmizi Kasim

Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara (USU)

Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA

Email: bimbingandaniel@yahoo.co.id dan danielbimbingan@gmail.com

Abstrak

Salah satu solusi dari pemerintah Indonesia akan menipisnya pasokan sumber energi konvensional yaitu dengan mengubah atau mengurangi pemakaian PJU (Penerangan Jalan Umum) konvensional menjadi PJU *solar cell*. Perbedaan material antara PJU *solar cell* dengan PJU konvensional, menyebabkan perbedaan pada sisi teknis (kenyamanan) dan ekonomis (kehematan). Oleh karena itu, kita harus mengetahui perbedaan tersebut untuk mendapatkan PJU yang lebih menguntungkan dan layak dipakai. Pada *paper* ini diketahui PJU *solar cell* menggunakan lampu LED (43 watt) dan dihitung sistem penerangannya memiliki intensitas penerangan rata-rata $E_{(rata-rata)} = 6,2$ lux. Sedangkan PJU konvensional menggunakan lampu SON T (250 watt) dan dihitung sistem penerangannya memiliki intensitas penerangan rata-rata $E_{(rata-rata)} = 23,6$ lux, dan *Break Even Point (BEP)* atau titik balik biaya keseluruhan PJU konvensional versus biaya keseluruhan PJU *solar cell* terjadi pada tahun ke-6 dimana biaya pengeluaran PJU konvensional yang sebesar Rp1.250.672.373 akan melewati atau lebih besar dari biaya pengeluaran PJU *solar cell* yang sebesar Rp 1.138.231.220 atau lebih ringkasnya pada tahun ke 6 PJU *solar cell* lebih hemat daripada PJU konvensional.

Kata kunci: penerangan jalan umum konvensional, penerangan jalan umum *solar cell*, *Break Even Point (BEP)*

1. Pendahuluan

Krisis energi adalah masalah yang sangat fundamental di Indonesia. Salah satu usaha yang dilakukan adalah pemanfaatan sumber energi baru, dimana sumber energi tersebut haruslah yang berkelanjutan, berjumlah besar, dan ramah terhadap lingkungan sekitarnya. Karena hal tersebut, maka mulai memanfaatkan energi matahari (sinar matahari) sebagai sumber energi pembangkit tenaga listrik. Untuk mengkonversikan sinar matahari menjadi energi listrik secara langsung dibutuhkan suatu alat yang dinamakan sel surya (*solar cell*).

Selanjutnya energi listrik yang dihasilkan dari *solar cell* dapat digunakan untuk berbagai penggunaan. Salah satu aplikasinya digunakan untuk sumber energi lampu pada penerangan jalan umum pada jalan Ir.H Juanda di kota Medan. Tetapi material-material yang digunakan ketika *solar cell* diaplikasikan pada penerangan jalan umum sangat berbeda dengan material-material yang digunakan pada penerangan jalan umum konvensional. Sehingga akan menyebabkan

perbedaan pada hal teknis dan ekonomis terhadap penggunaan PJU *solar cell* dengan PJU konvensional.

2. Instalasi Penerangan dan Biaya PJU

Dalam merencanakan instalasi penerangan, ada kriteria yang perlu diperhatikan untuk mendapatkan penerangan yang baik yaitu memenuhi fungsi supaya mata kita dapat melihat dengan jelas dan nyaman. Sehingga ada beberapa perhitungan pada sistem penerangan, diantaranya adalah intensitas penerangan dan luminansi.

Besar energi yang terpakai lampu PJU adalah besarnya daya lampu dikali dengan lamanya lampu menyala (beroperasi) adalah;

$$E_{load} = P_{load} \times t \quad (1)$$

Dimana :

E_{load} = energi yang terpakai (wh atau watt.hour)

P_{load} = daya beban atau lampu (watt)

t = lama pemakaian beban (jam)

Intensitas cahaya adalah fluks cahaya per satuan sudut ruang dalam arah pancaran cahaya [1].

$$I = \frac{\phi}{w} \tag{2}$$

Dimana :

I = intensitas cahaya (candela)

ϕ = fluks cahaya dalam lumen (lm)

w = sudut ruang dalam steradian (sr)

Luminansi adalah fluks cahaya persatuan sudut ruang atau intensitas cahaya dari suatu permukaan per satuan luas[1].

$$L = \frac{\phi}{w(A \cos \theta)} = \frac{I}{(A \cos \theta)} = \frac{I}{(r^2 \cdot \cos \theta)} \tag{3}$$

Dimana :

L = luminasi (cd/m²)

A = luas bidang (m²)

r = jarak dari sumber cahaya ke sebuah titik (m)

θ = sudut antara sinar datang dengan garis normal objek

Iluminasi atau intensitas penerangan adalah kerapatan fluks cahaya yang mengenai suatu permukaan[1].

$$E = \frac{\phi}{A} = \frac{\phi_g}{r^2} \cos \theta = \frac{\phi_g}{h^2} \cos^3 \theta \tag{4}$$

$$\cos \alpha = \cos \theta = \frac{h}{r}$$

Dimana :

E = intensitas penerangan/iluminasi (lux atau lm/m²)

ϕ_g = fluks cahaya dalam lumen (lm)

h = tinggi sumber cahaya ke permukaan tanah secara vertikal (m)

Badan Standardisasi Nasional (BSN) telah menetapkan pencahayaan yang sebaiknya untuk penerangan jalan. Kualitas pencahayaan pada suatu jalan diukur berdasarkan metoda iluminansi dan luminansi. Kualitas pencahayaan normal menurut jenis atau klasifikasi fungsi jalan ditentukan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Kualitas pencahayaan normal[2]

Jenis/ klasifikasi jalan	Kuat pencahayaan (Iluminansi)		Luminansi			Batasansilau	
	E rata- rata lux	Kemerataan (Uniformity) g1	L rata- rata cd/m2	Kemerataan (uniformity)		G	TJ (%)
				VD	VI		
Trotoar	1-4	0,10	0,10	0,40	0,50	4	20
Lokal: Primer Sekunder	2-5	0,10	0,50	0,40	0,50	4	20
	2-5	0,10	0,50	0,40	0,50	4	20

Kolektor; Primer Sekunder	3-7	0,14	1,00	0,40	0,50	4-5	20
	3-7	0,14	1,00	0,40	0,50	4-5	20
Arteri- Primer Sekunder	11 - 20	0,14 - 0,20	1,50	0,40	0,50 - 0,70	5-6	10 - 20
	11 - 20	0,14 - 0,20	1,50	0,40	0,50 - 0,70	5-6	10 - 20
Arteri dengan akseskontrol jalan bebashamb atan	15 - 20	0,14 - 0,20	1,50	0,40	0,50 - 0,70	5-6	10 - 20
Layang, simpangsus un, terowongan	20 - 25	0,20	2,00	0,40	0,70	6	10

keterangan : g1 = Emin/Emaks
 VD = Lmin/Lmaks
 VI = Lmin/Lrata-rata
 G = silau (glare)
 TJ = batas ambang kesilauan

Parameter dasar biaya yang mempengaruhi perkiraan ekonomi PJU *solar cell* dan konvensional adalah:

a. Biaya investasi yaitu biaya yang ditanamkan dalam rangka menyiapkan kebutuhan usaha untuk siap beroperasi dengan baik. Biaya ini biasanya dilakukan pada awal kegiatan usaha dalam jumlah yang relatif besar untuk berkesinambungan usaha tersebut.

b. Biaya operasional yaitu biaya yang dikeluarkan dalam rangka menjalankan aktifitas usaha tersebut sesuai dengan tujuan. Biaya ini biasanya dilakukan secara rutin. Karena kegiatan tersebut dilakukan secara berkala (*annuity*) dan biayanya akan terus naik setiap beberapa periode, maka digunakan metode nilai masa depan (*future value annuity*):

$$FVA_n = A \left[\frac{(1+i)^N - 1}{i} \right] \tag{5}$$

Dimana :

FVA_n = Nilai mendatang (*future worth*)

A = Aliran kas akhir untuk beberapa periode yang berurutan (*annual worth*)

N = Jumlah periode pemajemukan

i = Tingkat bunga efektif per periode

Sedangkan biaya operasional pada PJU konvensional sangat bergantung pada TDL (Tarif Dasar Listrik) yang telah ditetapkan pemerintah.

$$\text{Biaya pemakaian listrik} = E_{\text{load}} \times t \times \text{TDL} \tag{6}$$

Dimana :

TDL = Tarif dasar listrik untuk PJU (Rp -/Kwh)

t = waktu pemakaian lampu jalan (*hours*)

c. Biaya perawatan yaitu biaya yang diperuntukkan dalam rangka menjaga/menjamin

performance (kerja) fasilitas atau peralatan agar selalu prima dan siap dioperasikan. Biaya perawatan pada PJU adalah biaya pergantian material karena rusak atau tidak layak digunakan lagi [3].

$$Fv = Pv [(1 + i)^N] \tag{7}$$

Dimana :

P_v = Nilai sekarang (*present worth*)

F_v = Nilai mendatang (*future worth*)

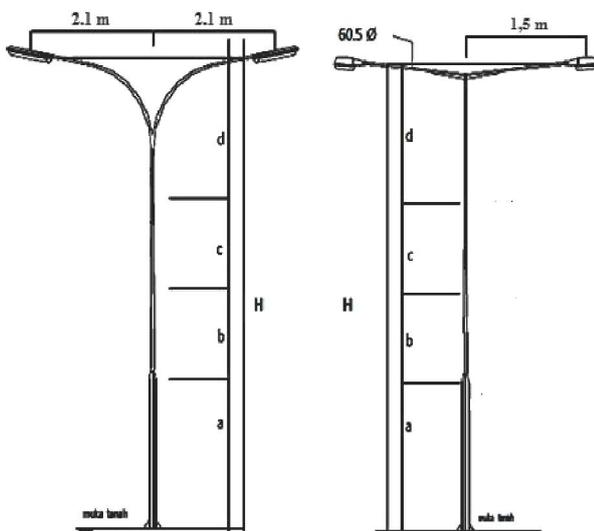
N = Jumlah periode pemajemukan (UsiaMaterial)

I = Tingkat bunga efektif per periode

3. Metode Penelitian

Penelitian ini mengambil lokasi pada jalan Ir.H Juanda Kota Medan dari titik 0 meter hingga + 1120 meter atau 28 tiang PJU yang menggunakan *solar cell* dimana jalan tersebut telah diganti dari penerangan jalan umum konvensional (sumber energi dari PLN)menjadi penerangan jalan umum *solar cell* (sumber energi dari matahari) sejak oktober 2012. Pengumpulan data lapangan dibantu oleh Dinas Pertamanan Kota Medan yang berlokasi di kantor Dinas Pertamanan Kota Medan.

Perbedaan bentuk atau konstruksi tiang PJU konvensional dan *solar cell* pada jalan Ir.H



Juanda Medan dapat dilihat pada Gambar 1.

(a) PJU konvensional dan (b) PJU solar cell

Sedangkan perbedaan dimensi tinggi dan diameter tiang PJU konvensional dan *solar cell* pada jalan Ir.H Juanda Medan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Dimensi tinggi dan diameter PJU

Segmen	Diameter (mm)		Tinggi Tiang (m)	
	(a)	(b)	Tiang A (m)	Tiang B (m)
a	125	150	2,0	2,0
b	100	125	2,0	1,5
c	75	100	2,8	2,8
d	50	80	2,2	2,2
H	Total		9,0	8,5

4. Hasil dan Pembahasan

Perbedaan jenis dan spesifikasi lampu PJU yang tertera pada Tabel 3, didapat perbedaan pada hal teknis pada sistem penerangan antara penggunaan PJU *solar cell* dengan PJU konvensional.

Tabel 3. Data lampu dan kemiringan ornament

Keterangan	PJU konvensional	PJU solar cell
Jenis lampu	Lampu SON T	Lampu LED
Daya	250 watt	43 watt
lumen (ϕ)	27.000 lm	4500 lm
Sudut kemiringan ornament (φ)	20°	10°

Perhitungan besar energi yang dipakai lampu SON T dapat dihitung dengan persamaan (1):

$$E_{load} = 250 \text{ watt} \times 12 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} = 3,0 \text{ kwh/hari}$$

Sedangkan besar energi yang dipakai lampu LED:

$$E_{load} = 43 \text{ watt} \times 12 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} = 0,516 \text{ kwh/hari}$$

Perhitungan intensitas cahaya PJU konvensional dapat dihitung dengan persamaan (20):

$$I = \frac{\phi}{w} = \frac{27000}{4\pi} = \frac{27000}{4 \times 3,14} = 2149,7 \text{ cd}$$

Untuk intensitas cahaya PJU solar cell:

$$I = \frac{\phi}{w} = \frac{27000}{4\pi} = \frac{27000}{4 \times 3,14} = 2149,7 \text{ cd}$$

Menurut persamaan (3), dapat dihitung luminansi PJU konvensional:

$$L_{rata-rata} = \frac{2149,7}{(240 \cdot \cos 60^\circ)} = 17,9 \text{ cd/m}^2$$

$$L_{min} = \frac{2149,7}{\left(\left(\sqrt{(9^2 + 19^2)} \right)^2 \cdot \frac{9}{\sqrt{(9^2 + 19^2)}} \right)} = 11,36 \text{ cd/m}^2$$

$$L_{maks} = \frac{I}{(r^2 \cdot \cos \varphi)} = \frac{2149,7}{(9^2 \cdot \cos 20^\circ)} = 28,24 \text{ cd/m}^2$$

Untuk luminansi PJU solar cell:

$$L_{rata-rata} = \frac{358,3}{(240 \cdot \cos 60^\circ)} = 3 \text{ cd/m}^2$$

$$L_{min} = \frac{358,3}{\left(\left(\sqrt{(8,5^2 + 19^2)} \right)^2 \cdot \frac{8,5}{\sqrt{(8,5^2 + 19^2)}} \right)} = 5 \text{ cd/m}^2$$

$$L_{maks} = \frac{I}{(r^2 \cdot \cos \varphi)} = \frac{358,3}{(8,5^2 \cdot \cos 10^\circ)} = 2 \text{ cd/m}^2$$

Iluminasi (intensitas penerangan) PJKonvensional dapat dihitung dengan persamaan (4):

$$E_{rata-rata} = \frac{\phi}{A} = \frac{5670}{240} = 23.625 \text{ lux}$$

$$E_{min} = 2 \times \frac{\phi_g}{h^2} \cos^3 \alpha = \frac{5670}{9^2} \cdot \left(\frac{9}{\sqrt{(9^2 + 19^2)}} \right)^3 = 10,98$$

$$E_{maks} = \frac{\phi_g}{h^2} \cos^3 \alpha = \frac{5670}{9^2} \cdot \cos^3 20^\circ = 58,08 \text{ lux}$$

Untuk menghitung iluminasi (intensitas penerangan) PJKonvensional:

$$E_{rata-rata} = \frac{\phi}{A} = \frac{1485}{240} = 6,2 \text{ lux}$$

$$E_{min} = 2 \times \frac{\phi_g}{h^2} \cos^3 \alpha = \frac{1485}{8,5^2} \cdot \left(\frac{8,5}{\sqrt{(8,5^2 + 19^2)}} \right)^3 = 2,8$$

$$E_{maks} = \frac{\phi_g}{h^2} \cos^3 \alpha = \frac{1485}{8,5^2} \cdot \cos^3 10^\circ = 19,6 \text{ lux}$$

Keterangan :

- i. Intensitas penerangan minimum (E_{min}) harus dikalikan dua karena titik terjauh pada permukaan jalan yang akan disinari lampu berada diantara tiang atau lampu PJKonvensional.
- ii. Luminansi rata-rata ($L_{rata-rata}$) memiliki sudut sebesar 60° karena pada sudut itu jatuh cahaya tepat pada pertengahan permukaan jalan.
- iii. Jarak (r) titik terjauh dan terdekat pada perhitungan luminansi dan iluminasi adalah sama
- iv. Besar sudut (θ) pada titik terjauh dan terdekat pada perhitungan luminansi dan iluminasi adalah sama

Untuk perhitungan keseluruhan total biaya pembelian material awal untuk membuat PJKonvensional tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Biaya investasi PJKonvensional

Jenis Material	Jumlah	Biaya Total	Umur
Tiang PJKonvensional	28	246.000.000	30 thn
Lampu SON T	56	21.280.000	15.000
Balast Sodium	56	25.200.000	3 thn

Ignitor SN 58	56	4.480.000	3 thn
Kapasitor 20 mF	56	2.800.000	3 thn
Armatur Lampu	56	78.400.000	10 thn
Panel APP	1	6.400.000	3 thn
MCB 1 phasa	12	1.152.000	3 thn
MCB 3 phasa	1	550.000	
Kabel NYM 2 x 2.5 mm ²	+ 255 m	2.295.000	30 thn
Kabel NYFGbY 4 x 10 mm ²	+ 1.200 m	82.200.000	
Kabel NYFGbY 4 x 16 mm ²	+ 30 m	2.955.000	
Biaya Penyambungan kwh-meter (Listrik dari PLN)	17.500 VA	13.562.500	
Biaya instalasi material pertiang + Panel APP (gaji & sewa peralatan)	28 tiang	42.000.000	
Biaya Total		Rp 529.474.000	

Perhitungan keseluruhan total biaya pembelian material awal untuk PJKonvensional dapat dilihat pada Tabel 5

Tabel 5. Biaya investasi PJKonvensional

Jenis Material	Jumlah	Biaya Total	Umur
Tiang PJKonvensional	28	266.000.000	30 thn
Panel surya 80 watt peaks	112	380.800.000	25 thn
Lampu LED 43 watt	56	84.000.000	40.000 jam
Armatur Lampu	56	78.400.000	10 thn
Baterai 150 Ah	56	2.800.000	2.600 kali pengisian
Solar Charge Controller	56	78.400.000	10 thn
Box (Baterai, Solar Charge Controller)	56	123.200.000	30 thn
Biaya instalasi material pertiang + Panel APP (gaji & sewa peralatan)	28 tiang	42.000.000	
Biaya Total		Rp 1.122.800.000	

Menurut ketentuan pemerintah, TDL (Tarif Dasar Listrik) pada tahun 2013 akan berubah tiap 3 bulan, sehingga didapat biaya beban PJU konvensional dalam setahun pada Tabel 6.

Tabel 6. Biaya beban [4]

Keterangan	$E_{load} / \cos\phi$ (KVA)	Biaya Blok II (Rp - /KVA)	Biaya Beban [3 x 40 x (Eload /cosφ) x Biaya Blok I
Januari – Maret	17,5	1380	Rp 2.898.000,00
April – Juni	17,5	1380	Rp 2.898.000,00
Juli – September	17,5	1380	Rp 2.898.000,00
Oktober – Desember	17,5	997	Rp 2.093.700,00
Biaya Total		Rp 10.787.700,00	

Untuk perhitungan biaya pemakaian listrik dapat dihitung dengan persamaan (6), sehingga hasilnya dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Biaya pemakaian listrik [4]

Keterangan	E_{load} Kw	t jam	TDL (Rp /Kwh)	Biaya Pemakaian Listrik ($E_{load} \times t \times TDL$)
Januari – Maret	14	1080	861	13.018.320,00
April – Juni	14	1092	904	13.820.352,00
Juli – September	14	1104	949	14.667.744,00
Oktober – Desember	14	1104	997	15.409.632,00
Biaya Total		Rp 56.916.048,00		

Biaya operasional PJU konvensional merupakan biaya rekening listrik (biaya beban + biaya pemakaian listrik) yang harus dibayar. Maka biaya rekening listrik pada tahun 2013 adalah:

$$56.916.048,00 + 10.787.700,00 = \text{Rp } 67.703.748,00$$

Sedangkan biaya operasional PJU solar cell adalah biaya pembersih panel surya setiap 3 bulan yang berkisar Rp 500.000,00 atau Rp 2.000.000,00/tahun. Dengan perkiraan kenaikan harga material 10% pertahun dan perkiraan kenaikan TDL sebesar 5% pertahun didapat perkiraan biaya operasional pada Tabel 8.

Perhitungan biaya perawatan PJU merupakan biaya pergantian material, dimana di *paper* ini pergantian material dilakukan sesuai dengan umur atau usia yang telah ditetapkan dari produk material tersebut, dan perhitungan biaya perawatan

PJU konvensional dan PJU solar cell dapat dihitung dengan persamaan (7).

a. Dengan perkiraan kenaikan harga material PJU konvensional 10% pertahun, sehingga dapat dilihat perkiraan biaya perawatan PJU konvensional pada Tabel 8, dimana contoh perhitungannya adalah:

SON T 250 watt + Balast Sodium 250 watt + Ignitor SN 58 + Kapasitor 20 mF + MCB (1Ø & 3Ø) = Rp 84.022.000,00

$$Fv = Pv [(1 + i)^N] = 84.022.000 [(1 + 0,1)^3]$$

$$Fv = \text{Rp } 111.833.282$$

b. Biaya perawatan PJU solar cell, dengan perkiraan kenaikan harga material 10% pertahun didapat perkiraan biaya perawatan PJU solar cell pada Tabel 8, misalnya:

Baterai 150 Ah = Rp 123.200.000

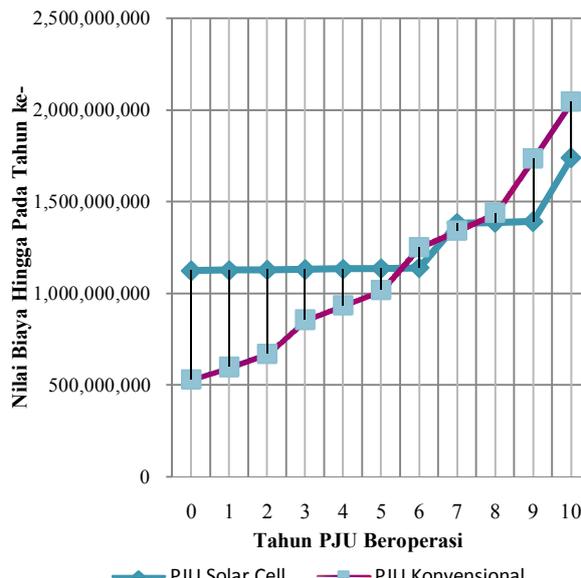
$$Fv = Pv [(1 + i)^N] = 123.200.000 [(1 + 0,1)^7]$$

Biaya Awal	PJU Konvensional		PJU Solar Cell	
	Rp 529.474.000		Rp 1.122.800.000	
Tahun Ke-	Biaya Operasional	Biaya Perawatan	Biaya Operasional	Biaya Perawatan
1	67.703.748	0	2.000.000	0
2	71.088.936	0	2.200.000	0
3	74.643.382	111.833.282	2.420.000	0
4	78.375.551	0	2.662.000	0
5	82.294.329	0	2.928.200	0
Total	Rp 1.015.413.228		Rp 1.135.010.200	
6	86.409.046	148.850.099	3.221.020	0
Total	Rp 1.250.672.373		Rp 1.138.231.220	
7	90.729.498	0	3.543.122	240.240.000
Total	Rp 1.341.401.871		Rp 1.382.014.342	
8	95.265.973	0	3.897.435	0
Total	Rp 1.436.667.844		Rp 1.385.911.777	
9	100.029.272	198.119.481	4.287.178	0
Total	Rp 1.734.816.597		Rp 1.390.198.955	
10	105.030.735	203.840.000	4.715.896	342.160.000
Total	Rp 2.043.830.012		Rp 1.737.074.851	

$$Fv = \text{Rp } 240.240.000$$

Tabel 8. Total biaya PJU

Adapun isi Tabel 8 disederhanakan dalam bentuk grafik dapat terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva biaya break even PJU konvensional vs PJU solar cell

5. Kesimpulan

Dari hasil analisa data yang diperoleh dari percobaan yang dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem penerangan PJU *solar Cell* pada jalan Ir.H Juanda Medan tidak dapat dikatakan baik seutuhnya, karena $E_{(rata-rata)} = 6,2$ lux atau dibawah 11 (seperti tertera pada Tabel 2.5) dan itu tidak sesuai SNI untuk penerangan jalan. Tetapi luminansi dan pemerataan iluminasi pencahayaannya sesuai SNI.
2. Sistem penerangan jalan umum konvensional pada jalan Ir.H Juanda Medan juga tidak dapat dikatakan baik, karena $E_{(rata-rata)} = 23,6$ lux atau diatas 20 (seperti tertera pada Tabel 2.5), $L_{(rata-rata)} = 8,95$ cd/m² atau diatas 1,5 (seperti tertera pada Tabel 2.5) dan itu tidak sesuai SNI untuk penerangan jalan. Tetapi pemerataan luminansi dan iluminasi pencahayaannya sesuai SNI.
3. Biaya investasi awal PJU *solar cell* sebesar Rp 1.122.800.000 jauh lebih besar dari biaya investasi awal PJU konvensional sebesar Rp 529.474.000.
4. Biaya operasional PJU konvensional sangat tergantung dengan TDL (Tarif Dasar Listrik), sedangkan biaya operasional PJU *solar cell* hanya harga pembersih panel surya.

5. Biaya perawatan PJU konvensional lebih besar dari biaya perawatan PJU *solar cell* hingga pada tahun ke 10 beroperasi, karena usia/umur material PJU konvensional lebih sedikit daripada PJU *solar cell*.
6. Break Even Point atau titik balik biayatotal PJU konvensional akan melewati biaya total PJU *solar cell* terjadi pada tahun ke-6 (lihat Gambar 2) atau pada tahun ke 6 PJU *solar cell* lebih hemat dari PJU konvensional.

6. Daftar Pustaka

- [1] Wibawa, Unggul & Darmawan, Andy. 2008. *Penerapan Sistem Photovoltaik Sebagai Supply Daya Listrik Beban Pertamanan*. Jakarta: Jurnal EECIS.
- [2] Standar Nasional Indonesia. 2008. *Spesifikasi Penerangan Jalan Di Kawasan Perkotaan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN)
- [3] Giatman, M. 2005. *Ekonomi Teknik*. Jakarta: PT Raja Grafindo.
- [4] <http://www.pln.co.id>