

EVALUASI PENERANGAN JALAN UMUM KOMPLEK KANTOR KABUPATEN BOYOLALI

Adevia Arva Puspa^{*)}, Karnoto, and Bambang Winardi

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)} E-mail : adeviaarva@gmail.com

Abstrak

Penerangan Jalan Umum pada Komplek Kantor Kabupaten Boyolali menggunakan PV sebagai sumber listriknya. Pada kompleks tersebut terdapat empat jalan utama yaitu Jalan Ahmad Yani, Jalan Merdeka Utara, Jalan Merdeka Timur dan Jalan Merdeka Barat. Pada empat jalan tersebut tiap tiang menggunakan lampu jenis LED 30 Watt. Komplek Kantor Kabupaten Boyolali tersebut akan dilakukan evaluasi kelayakan dengan dua aspek: ekonomi dan lingkungan. Proses evaluasi dilakukan untuk mengetahui penerangan pada kompleks kantor Kab. Boyolali sesuai dengan SNI 7391 2008 serta aturan pemerintah dalam UU No. 30 tahun 2007 tentang energi terbarukan. Hasil proses evaluasi lampu yang digunakan memiliki daya rendah sehingga nilai iluminasinya tidak memenuhi standar. Lampu yang digunakan LED 30 Watt, tinggi tiang 7 meter, intensitas cahaya 238,85 cd dan iluminasi 0,91 lux sehingga digunakan lampu LED 118 Watt, tinggi tiang 6 meter, intensitas cahaya 939,49 cd, iluminasi 3,55 lux. Analisa ekonomi teknik pembangunan PJU PV ini layak dilakukan karena nilai NPV Rp 817.897.114,37, IRR 24 %, masa pengembalian 61 tahun. Penurunan emisi PJU kompleks tersebut adalah 2192,4 kgCO₂/tahun. Nilai penurunan emisi sesuai dengan Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca dan Peraturan Presiden Nomor 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional.

Kata kunci : Penerangan Jalan Umum, PV, Aspek Lingkungan

Abstract

Public Streets Lighting in Office Complex of Boyolali district which using PV as a source electricity. The complex has 4 streets there are Ahmad Yani, Merdeka Utara, Merdeka Timur, and Merdeka Barat. All of the streets were enlightened by using LED lamp type 30 Watt. This area will be evaluated by using two aspect: technical economy and environment. Those evaluation are done to know about the suitability with ISO 7391 2008 and government rules in Law Number 30, 2007 about renewable energy. The results are that lamp has low power, so the illumination are not perform with the standard. By using LED type 30 Watt and the pile's lamp is 7 meter, so the light intensity is 238,85 cd and illumination 0,91 lux. When used LED type 118 Watt, the pile's lamp is 6 meter so the light intensity is 939,49 cd and illumination 3,55 lux. Technical economic analysis those PJU PV are acceptable and has NPV Rp 817.897.114,37, IRR 24%, with payback period 61 years. Emission reduction of those public streets lighting are 2192,4 kgCO₂/year which suitable with Government Regulation number 61, 2011 about National Action Plan to Reduce Emissions of Greenhouse Gas and Government Regulation number 71, 2011 about Implementation of National Greenhouse Gas Inventory.

Keywords : Street Lighting, PV, Environment aspect

1. Pendahuluan

Lampu penerangan jalan merupakan 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 ssekitar jalan yang diperlukan termasuk persimpangan jalan, jalan layang, jembatan dan jalan di bawah tanah^[4]. Untuk mendapat hasil pekerjaan yang baik dan mengurangi

permasalahan setelah dilakukan pemasangan Penerangan Jalan Umum (PJU) diperlukan survei lapangan bagaimana kondisi daerah yang akan dipasang instalasi PJU tersebut. Hal ini dilakukan agar dapat disusun sebuah instalasi Penerangan Jalan Umum (PJU) yang secara teknis ekonomi, material atau komponen penyusun sesuai dengan kebutuhan pemasangan.

Dalam pemasangan Lampu Penerangan Jalan Umum (LPJU) untuk sumber energi listriknya pada umumnya

menggunakan sumber PLN yaitu dengan cara menarik jaringan distribusi pada tiang terdekat dengan beban. Pedoman pemasangan atau standar pemasangan lampu penerangan jalan umum (LPJU) berdasarkan spesifikasi penerangan dasar yaitu seperti iluminasi pencahayaan, jenis lampu penerangan, dan kebutuhan dayanya semua mengacu pada SNI 7391 2008. Tidak hanya menggunakan sumber PLN juga terdapat pilihan sumber lain untuk pemasangan lampu penerangan jalan umum (LPJU) yaitu menggunakan sumber energi baru terbarukan (*renewable energy*).

Penerangan jalan umum (PJU) dengan menggunakan tenaga surya biasanya dipilih sebagai sumber penerangan jalan umum (PJU) karena titik-titik PJU yang ada jauh dari jangkauan jaringan listrik PLN. Akan tetapi sekarang seiring berjalannya waktu pemilihan PJU dengan sumber tenaga surya tidak hanya digunakan pada daerah yang jauh dari jangkauan listrik PLN tetapi mulai digunakan di wilayah perkotaan. Berdasarkan penelitian sebelumnya dikatakan bahwa PJU dengan sumber tenaga surya lebih tidak efektif dibandingkan dengan sumber PLN yaitu dari segi biaya investasinya^[20]. Namun justru sekarang banyak wilayah kota besar atau wilayah daerah yang dekat dengan jangkauan listrik PLN yang menggunakan PJU dengan sumber tenaga surya. Oleh karena itu, penulis ingin membuat suatu tugas akhir dengan melakukan evaluasi pada penerangan jalan umum secara ekonomi teknik dan aspek lingkungan penerangan jalan umum pada Komplek Kantor Kabupaten Boyolali. Karena berdasarkan survei lapangan yang telah dilakukan bahwa disekitar kompleks kantor tersebut telah dipasang lampu penerangan jalan umum (LPJU) dengan menggunakan tenaga surya padahal tidak jauh dari LPJU terdapat sumber jangkauan listrik PLN. Tujuan dari tugas akhir ini adalah menghitung kebutuhan daya yang diperlukan untuk menerangi jalan di Komplek Kantor Kabupaten Boyolali, menghitung iluminasi pencahayaan penerangan jalan umum di Komplek Kantor Kabupaten Boyolali, menghitung secara ekonomi teknik perancangan LPJU dengan tenaga surya pada komplek tersebut, dan menganalisa secara aspek lingkungan mengenai pemasangan LPJU pada komplek tersebut.

2. Metode

2.1. Metode Pengambilan Data

1. Studi literatur yaitu dengan melakukan studi pustaka yaitu menggunakan acuan SNI 7391 2008 karena merupakan standar yang digunakan untuk pembangunan penerangan jalan umum.
2. Pengambilan data dilakukan dengan cara pengukuran yaitu mengukur langsung pada Komplek Kantor Kabupaten Boyolali menggunakan alat maeteran dan data tertulis berupa kapasitas PV, lampu yang digunakan, dan kapasitas baterai untuk PV yang di dapatkan dari Dinas Pekerjaan Umum dan ESDM.

2.2. Metode Perhitungan dan Analisis Data

1. Pada sisi teknis, hal yang dilakukan adalah penentuan desain jenis penerangan jalan umum (PJU) yang meliputi sudut stang ornamen, intensitas cahaya, iluminasi, jumlah titik lampu, daya listrik yang dibutuhkan, dan jumlah energi.
2. Pada sisi ekonomis, hal yang dilakukan adalah penghitungan *net present value* (NPV), *payback period*, dan *internal rate of return* (IRR).
3. Kajian aspek lingkungan dengan menghitung berapa nilai penurunan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan sumber listrik PJU PV.

2.3. Lokasi Penelitian

Obyek penelitian pada tugas akhir ini adalah bertempat di Komplek Kantor Kabupaten Boyolali Jawa Tengah.

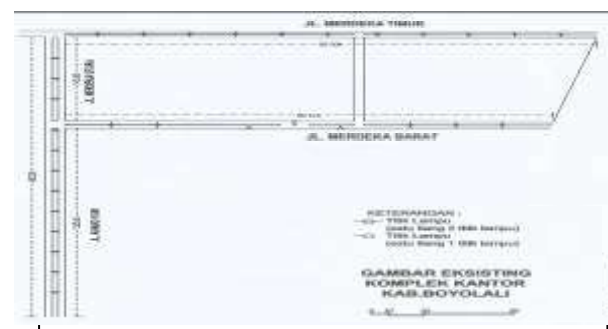
2.4. Data Jalan Sentul Alas Roban

Data dimensi jalan yang akan dilakukan perencanaan lampu penerangan jalan umum berdasarkan hasil survei tahun 2015 dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 1. Data dimensi Komplek Kantor Kab. Boyolali

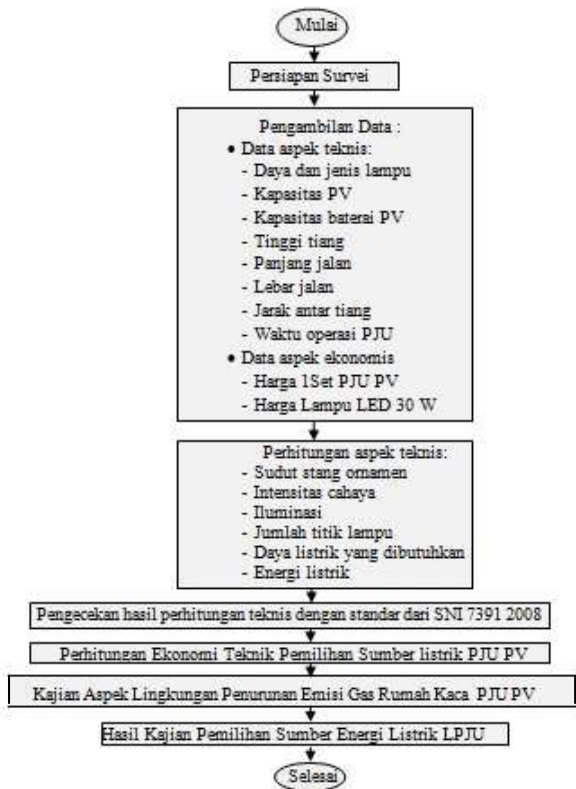
Nama Jalan	Panjang (m)	Lebar (m)
Ahmad Yani	325	10
Merdeka Utara	145	10
Merdeka Timur	405	10
Merdeka Barat	372	10

Berikut adalah Peta Komplek Kantor Kab. Boyolali :



Gambar 1. Eksisting Komplek Kantor Kabupaten Boyolali

2.5. Perencanaan Lampu Penerangan Jalan Umum (LPJU)



Gambar 2. Diagram Alir Perencanaan LPJU

3. Hasil dan Analisa

3.1. Kondisi Eksisting

Objek Tugas Akhir penulis dilakukan pada Komplek Kantor Kabupaten Boyolali. Komplek Kantor Kabupaten Boyolali merupakan jalan kolektor. Menurut Undang-undang Republik Indonesia No 38 Tahun 2004, bahwa jalan kolektor adalah jalan umum yang berfungsi melayani angkutan dengan ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang, dan jumlah jalan masuk dibatasi. Komplek kantor ini memiliki 4 jalan utama yaitu jalan Ahmad Yani, Merdeka Utara, Merdeka Timur, dan Merdeka Barat.

3.2. Perhitungan Penerangan Jalan Umum secara Teknis

3.2.1. Sebelum Evaluasi

1. Tiang Lampu Jalan yang Digunakan

Berdasarkan data yang telah diperoleh dari pemerintah daerah Kabupaten Boyolali pada Komplek Kantor Kabupaten Boyolali telah terpasang Penerangan Jalan Umum dengan lampu jenis LED berdaya 30 Watt, dengan tinggi tiang pemasangan adalah 7 meter, jarak pemasangan antar tiang 35 meter.

Untuk menentukan sudut kemiringan stang ornamen dapat dihitung dengan Persamaan 2-7 dan 2-8 sebagai berikut:

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

$$= 8,60 \text{ meter}$$

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

$$= 0,813$$

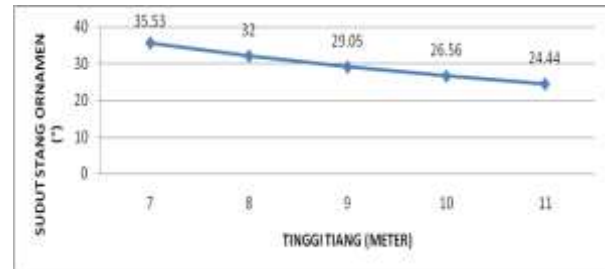
$$\varphi = 35,53^{\circ}$$

Berdasarkan perhitungan di atas maka didapat kemiringan stang ornamen yang akan digunakan adalah $35,53^{\circ}$. Tabel 4.2 dibawah menunjukkan perbandingan tinggi tiang terhadap sudut kemiringan stang ornamen dengan lebar jalan 10 meter.

Tabel 2. Perbandingan tinggi tiang terhadap sudut kemiringan stang ornamen Jalanan Wilayah Kantor Pemerintahan Kabupaten Boyolali.

No	Tinggi Tiang (meter)	Sudut Stang Ornamen ($^{\circ}$)
1	7	35.53
2	8	32.00
3	9	29.05
4	10	26.56
5	11	24.44

Berdasarkan Tabel 2 maka bisa dibuat grafik hubungan tinggi tiang terhadap sudut kemiringan stang ornamen lampu penerangan jalan umum. Berikut ini adalah grafiknya.



Gambar 3. Grafik hubungan tinggi tiang dengan kemiringan sudut stang ornamen

Berdasarkan Gambar 3 menunjukkan hubungan antara tinggi tiang lampu penerangan jalan umum terhadap sudut stang ornamen. Bahwa semakin tinggi tiang LPJU yang digunakan maka sudut stang ornamen yang diperoleh akan semakin kecil. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi tiang yang digunakan maka cahaya yang dihasilkan akan semakin menyebar karena berdasarkan rumus perhitungan iluminasi bahwa nilai iluminasi dipengaruhi oleh tinggi tiang dan lebar jalan.

2. Menghitung Intensitas Cahaya

Dengan besarnya K (efikasi cahaya) rata-rata lampu LED sebesar 100 lm/watt dengan daya 30 W dan besarnya sudut ruang adalah $\omega = 4\pi$, maka diperoleh :

$$I = \frac{K \cdot P}{\omega}$$

$$= 238.8535032 \text{ Cd}$$

Semakin besar lumen lampu yang digunakan untuk penerangan jalan, maka semakin besar pula intensitas cahaya yang dihasilkan. Begitu pula sebaliknya, semakin kecil lumen lampu yang digunakan maka akan semakin kecil intensitas cahaya yang dihasilkan. Hal ini karena intensitas cahaya penerangan jalan nilainya sebanding dengan lumen lampu yang dipakai.

3. Menghitung Iluminasi pada Titik Ujung Jalan

Langkah selanjutnya dalam perencanaan penerangan jalan umum adalah menghitung iluminasi pada titik ujung jalan. Nilai iluminasi ke ujung jalan dapat diperoleh :

$$E_B = \frac{I}{r^2} \cos \beta$$

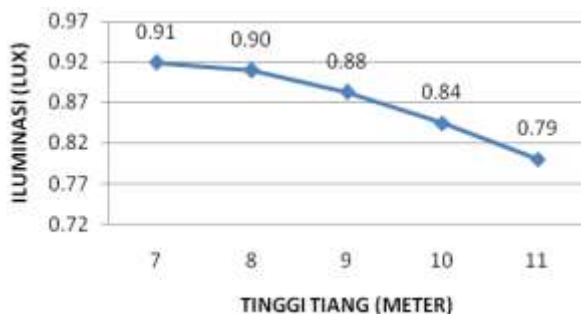
$$= 0,91 \text{ lux}$$

Berikut ini disajikan tabel pengaruh variasi beberapa ketinggian tiang lampu jalan yang digunakan terhadap iluminasi yang dihasilkan.

Tabel 3. Variasi Ketinggian Tiang Lampu Terhadap Iluminasi

No.	Tinggi Tiang (meter)	Iluminasi (lux)	Standar Iluminasi (lux)
1	7	0,91	3-7
2	8	0,90	
3	9	0,88	
4	10	0,84	
5	11	0,79	

Berdasarkan tabel 3 maka bisa dilihat bahwa ketinggian LPJU rancangan tidak layak sesuai standar yang ditetapkan yakni antara 3-7 lux. Berikut ini adalah grafiknya.



Gambar 4. Grafik hubungan tinggi tiang terhadap iluminasi.

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara tinggi tiang lampu penerangan jalan umum terhadap iluminasi yang dihasilkan. Hasil perhitungan untuk mengetahui hubungan tinggi tiang terhadap nilai iluminasi dan menunjukkan hasil bahwa semakin tinggi tiang LPJU yang digunakan

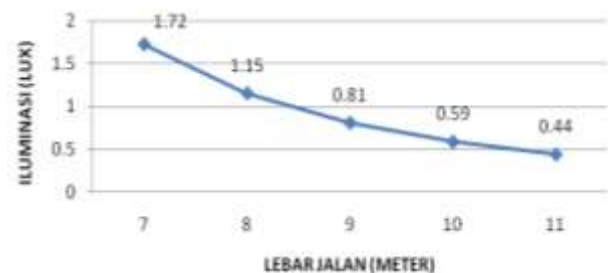
maka iluminasi yang diperoleh semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi tiang yang digunakan maka cahaya yang dihasilkan akan semakin menyebar nilai iluminasi (lux) lampu menjadi semakin kecil karena berdasarkan rumus perhitungan iluminasi bahwa nilai iluminasi dipengaruhi oleh tinggi tiang dan lebar jalan.

Berikut ini Tabel 4 pengaruh variasi lebar jalan terhadap iluminasi dengan tinggi tiang tetap yaitu 7 m.

Tabel 4. Variasi Lebar Jalan Terhadap Iluminasi yang Dihasilkan

No	Lebar Jalan (meter)	Iluminasi (Lux)	Standar Iluminasi (Lux)
1	8	1,15	3-7
2	9	0,81	
3	10	0,59	
4	11	0,44	

Tabel 4 menunjukkan bahwa dengan variasi lebar jalan yang dihitung pada lampu yang telah terpasang tidak sesuai dengan standar yang ada dari SNI 7391 2008 yakni antara 3-7 lux dan dapat dibuat grafik hubungan lebar jalan terhadap nilai iluminasi yang dihasilkan oleh lampu penerangan jalan umum sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 5



Gambar 5. Grafik hubungan lebar jalan terhadap iluminasi

Hasil perhitungan untuk mengetahui hubungan lebar jalan terhadap nilai iluminasi sehingga dapat dilihat hubungannya melalui Gambar 5 bahwa semakin lebar suatu jalan maka iluminasi cahayanya menjadi semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lebar suatu jalan maka cahaya yang dihasilkan akan semakin menyebar nilai iluminasi (lux) lampu menjadi semakin kecil.

4. Jumlah Titik Lampu yang Dibutuhkan

4.1 Jalan Ahmad Yani

Dengan panjang jalan 325 meter dan jarak antar tiang 35 meter, maka jumlah titik lampu yang dibutuhkan untuk Penerangan Jalan Umum (PJU) di Komplek Kantor Kabupaten Boyolali dapat dihitung sebagai berikut :

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

$$= 10 \text{ titik lampu}$$

4.2 Jalan Merdeka Utara

Dengan panjang jalan 145 meter dan jarak antar tiang 35 meter, maka jumlah titik lampu yang dibutuhkan untuk Penerangan Jalan Umum (PJU) di Komplek Kantor Kabupaten Boyolali dapat dihitung sebagai berikut :

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

$$= 5 \text{ titik lampu}$$

4.3 Jalan Merdeka Timur

Dengan panjang jalan 405 meter dan jarak antar tiang 35 meter, maka jumlah titik lampu yang dibutuhkan untuk Penerangan Jalan Umum (PJU) di Komplek Kantor Kabupaten Boyolali dapat dihitung sebagai berikut :

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

$$= 13 \text{ titik lampu}$$

4.4 Jalan Merdeka Barat

Dengan panjang jalan 372 meter dan jarak antar tiang 35 meter, maka jumlah titik lampu yang dibutuhkan untuk Penerangan Jalan Umum (PJU) di Komplek Kantor Kabupaten Boyolali dapat dihitung sebagai berikut :

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

$$= 12 \text{ titik lampu}$$

5. Perhitungan Daya Listrik yang Dibutuhkan

Berdasarkan jumlah titik lampu pada keempat jalan tersebut yang berjumlah 35 titik dengan daya lampu 30 Watt maka daya yang mengalir pada semua LPJU total dapat dihitung dengan Persamaan 2-10 sebagai berikut^[2]:

- Daya lampu lengan ganda
 $P = 60 \times 32$
 $= 1920 \text{ Watt}$
 - Daya lampu lengan tunggal
 $P = 30 \times 3$
 $= 90 \text{ Watt}$
- $P \text{ total} = 1920 + 90$
-
- $= 2010 \text{ Watt}$
-
- $= 2,01 \text{ kW}$

6. Perhitungan Energi Listrik

Pola operasi LPJU yang telah ditentukan dengan waktu tertentu, yaitu Pukul 18.00 lampu menyala sampai dengan 23.00 lampu akan mati, kemudian lampu akan menyala kembali pada pukul 03.00 dan 06.00 lampu akan mati, lampu beroperasi selama 8 jam. Energi yang terpakai pada PJU ini adalah sebagai berikut:

$$W = 2010 \times 8$$

$$= 16080 \text{ Wh}$$

$$= 16,08 \text{ kWh per hari}$$

Dalam satu bulan energi listrik yang dikonsumsi adalah sebagai berikut^[2]:

$$W/\text{bulan} = 16,08 \times 30 \text{ hari}$$

$$= 482,4 \text{ kWh}$$

3.2.2 Analisis Evaluasi secara Teknis

1. Tiang Lampu Jalan yang Digunakan

Tinggi tiang lampu yang digunakan tidak sesuai dengan SNI 7391 2008, yaitu dengan lebar jalan sebesar 10 meter maka tinggi tiang lampu yang digunakan seharusnya berkisar sekitar 5-6 meter dengan sudut stang ornamen sebesar 39,80°. Berikut merupakan perhitungannya dengan Persamaan 2-8 dan 2-9 :

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

$$= 7,81 \text{ meter}$$

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

$$= 0,76$$

$$\varphi = 39,80^\circ$$

Apabila dilakukan perancangan yang sesuai dengan SNI 7391 2008 maka harus digunakan tinggi tiang 6 meter dengan sudut stang ornamen 39,80°. Penggunaan tiang lampu yang sesuai dengan SNI harus dilakukan karena semakin tinggi tiang yang digunakan maka cahaya yang dihasilkan akan semakin menyebar.

2. Menghitung Intensitas Cahaya

Berdasarkan perhitungan yang ada didapatkan hasil yang belum memenuhi dengan standar SNI 7391 2008 dimana seharusnya nilai lux yang harus dimiliki adalah 3-7 lux. Ketidaksiharian ini disebabkan karena nilai daya (watt) yang digunakan pada jalan tersebut adalah terlalu kecil dan tidak sebanding dengan lebar dan panjang jalan pada Komplek Kantor Kabupaten Boyolali.

Pelaksanaan penggantian jenis lampunya dilakukan agar dapat memenuhi kebutuhan jalan pada Komplek Kantor Kabupaten Boyolali maka di pilih lampu dengan besarnya K (efikasi cahaya) lampu LED sebesar 75,42 lm/watt dengan daya 120 W sehingga diperoleh :

$$I = \frac{K \cdot P}{\omega}$$

$$= 939,49 \text{ Cd}$$

Semakin besar nilai lumen lampu yang digunakan untuk penerangan jalan, maka semakin besar pula intensitas cahaya yang dihasilkan. Begitu pula sebaliknya, semakin kecil lumen lampu yang digunakan maka akan semakin kecil juga intensitas cahaya yang dihasilkan. Hal ini karena intensitas cahaya suatu penerangan jalan adalah sebanding dengan lumen lampu yang dipakai.

3. Menghitung Iluminasi

Langkah selanjutnya dalam perencanaan penerangan jalan umum adalah menghitung iluminasi pada titik ujung jalan. Sebelumnya dicari dahulu jarak lampu ke ujung jalan. Nilai iluminasi dapat diperoleh :

$$E_B = \frac{I}{r^2} \cos \beta$$

$$= 3,55 \text{ lux}$$

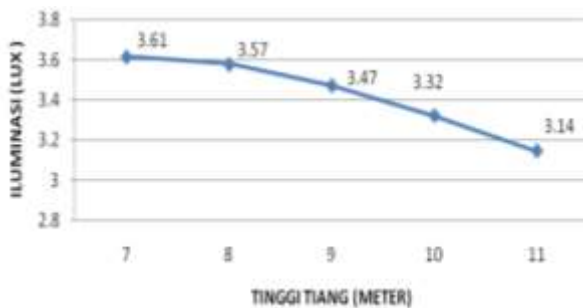
Tabel 6 disajikan pengaruh variasi beberapa ketinggian tiang lampu jalan yang digunakan terhadap iluminasi

yang dihasilkan dengan data jalan seperti yang telah disebutkan di atas dan efisiensi lampu LED 75,42 lm/watt.

Tabel 5. Variasi Ketinggian Tiang Lampu Terhadap Iluminasi yang Dihasilkan

No	Tinggi Tiang (meter)	Iluminasi (Lux)	Standar Iluminasi (Lux)
1	7	3,61	3-7
2	8	3,57	
3	9	3,47	
4	10	3,32	
5	11	3,14	

Berdasarkan Tabel 6 maka bisa dilihat bahwa ketinggian LPJU rancangan telah sesuai dengan standar yang telah ada dari SNI 7391 2008 yakni antara 3-7 lux. Dapat dibuat grafik hubungan tinggi tiang terhadap nilai iluminasi yang dihasilkan oleh lampu penerangan jalan umum sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 7



Gambar 7 Grafik Hubungan Tinggi Tiang terhadap Iluminasi

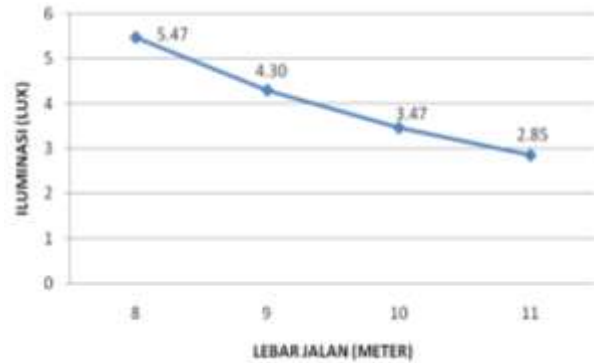
Gambar 7 menunjukkan hubungan antara tinggi tiang lampu penerangan jalan umum terhadap iluminasi yang dihasilkan. Bahwa semakin tinggi tiang LPJU yang digunakan maka iluminasi yang diperoleh semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi tiang yang digunakan maka cahaya yang dihasilkan akan semakin menyebar nilai iluminasi (lux) lampu menjadi semakin kecil karena berdasarkan rumus perhitungan iluminasi bahwa nilai iluminasi dipengaruhi oleh tinggi tiang dan lebar jalan.

Tabel 6. Variasi Lebar Jalan Terhadap Iluminasi yang Dihasilkan

No	Lebar Jalan (meter)	Iluminasi (Lux)	Standar Iluminasi (Lux)
1	8	5,47	3-7
2	9	4,30	
3	10	3,47	
4	11	2,85	

Berdasarkan Tabel 7 maka bisa dilihat bahwa hanya lebar jalan 8, 9 dan 10 meter yang sesuai dengan standar SNI untuk penerangan jalan LED 118 Watt, ketika lebar jalan lebih dari 10 meter maka nilai iluminasi untuk ketinggian

lampu 6 meter tidak sesuai dengan standar. Dapat dibuat grafik hubungan lebar jalan terhadap nilai iluminasi yang dihasilkan oleh lampu penerangan jalan umum sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Grafik Hubungan Lebar Jalan terhadap Iluminasi

Gambar 8 menunjukkan hubungan antara lebar jalan terhadap iluminasi yang dihasilkan. Bahwa semakin lebar suatu jalan maka iluminasi cahayanya menjadi semakin kecil.

4. Perhitungan Daya Listrik yang Dibutuhkan

Pola operasi LPJU yang telah ditentukan dengan waktu tertentu, yaitu Pukul 18.00 lampu menyala sampai dengan 23.00 lampu akan mati, kemudian lampu akan menyala kembali pada pukul 03.00 dan 06.00 lampu akan mati, lampu beroperasi selama 8 jam. Energi yang terpakai pada PJU ini adalah sebagai berikut:

- Daya lampu lengan ganda
 $P = 236 \times 33$
 $= 7788 \text{ Watt}$
- Daya lampu lengan tunggal
 $P = 118 \times 3$
 $= 354 \text{ Watt}$
 $P \text{ total} = 7788 + 354$
 $= 8142 \text{ Watt}$
 $= 8,14 \text{ kW}$

5. Perhitungan Energi Listrik

Pola operasi LPJU yang telah ditentukan dengan waktu tertentu, yakni lampu beroperasi selama 8 jam. Energi yang terpakai pada PJU ini adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 W &= P \times t \\
 &= 8142 \times 8 \\
 &= 65136 \text{ Wh} \\
 &= 65,13 \text{ kWh per hari}
 \end{aligned}$$

Dalam satu bulan energi listrik yang dikonsumsi adalah sebagai berikut :

$$W/\text{bulan} = 65,13 \times 30 \text{ hari}$$

= 1953,9 kWh

Total investasi = Rp 14.750.000,00 + Rp 4.675.000,00
= Rp 19.425.000,00

3.3 Analisis Ekonomi Teknik PJU Komplek Kantor Kabupaten Boyolali

Analisa pemilihan teknologi PJU dilakukan dengan membandingkan nilai investasi yang ditanamkan dengan keuntungan yang diperoleh atau lebih dikenal dengan *cost – benefit analysis* yaitu metode *payback period* dan *Internal Rate of Return* (IRR). Pada kedua metode tersebut diperlukan nilai *cash flow* dimana nilai *cash flow* ini di dapat dari biaya bayangan (*shadow price*). Biaya bayangan ini diasumsikan dengan biaya tagihan listrik yang harus dibayar oleh Pemerintah terhadap PLN setiap tahunnya.

3.3.1 Biaya Investasi PJU dengan Sumber Listrik PV (Pembangkit Listrik Tenaga Surya)

Pada penggunaan PJU dengan sumber listrik dari PV (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) berarti sumber energinya berasal dari tenaga surya kemudian di tangkap oleh modul surya untuk kemudian diubah menjadi energi listrik. Pada sistem PV sendiri dapat dibangun dalam berbagai ukuran tergantung pada berapa kebutuhan energinya. Perlu dilakukan perencanaan yang baik dan matang agar sistem penerangan dengan sumber tenaga surya dalam pengoperasiannya dapat bekerja secara maksimal. Kebutuhan perencanaan meliputi kebutuhan PV, kebutuhan baterai, dan kebutuhan *Battery Charge Regulator* (BCR). Berikut merupakan perhitungan ekonomi teknik dari data yang telah diperoleh dari Pemerintah Daerah Kab. Boyolali mengenai deskripsi jenis PV yang digunakan:

Tabel 7. Spesifikasi PJU dengan *Sollar Cell*

No	Barang	Deskripsi
1	PV	Polycrystalline 150 Wp 1 unit
2	Lampu	Lampu LED 30 W putih 1 set
3	<i>Sollar cell controller</i>	1 unit ukuran 10 A
4	<i>Box Battery</i>	1 unit
5	Baterai	VRLA 100 Ah/12 Volt 1 unit
6	Pengkabelan, aksesoris, dan lain lain.	
Harga		Rp 14.750.000,00

- a. Tiang lengan ganda
 Harga tiang lampu PJU Solar bulat antik 7 m *Double* ornamen :
 Rp 5.225.000,00
 Total investasi = Rp 14.750.000,00 + Rp 5.225.000,00
 = Rp 19.975.000,00
- b. Tiang lengan tunggal
 Harga tiang lampu PJU Solar bulat antik 7 m *Single* ornamen :
 Rp 4.675.000,00

Perhitungan rincian biaya investasi penerangan jalan umum dengan tenaga surya adalah investasi baru merupakan investasi yang termasuk didalamnya semua komponen peralatan yang masih baru atau mengalami penggantian secara keseluruhan, biayanya sebesar Rp 19.975.000,00 untuk 1 set PJU PV dengan tiang ganda dan Rp 19.425.000,00 untuk 1 set PJU PV dengan tiang lengan tunggal. Jumlah biaya total untuk investasi baru adalah Rp 697.450.000,00.

Penggantian merupakan membeli peralatan yang sudah habis umur atau masa pakai komponennya. Dalam Tugas Akhir penerangan jalan umum tenaga surya ini, komponen yang harus diganti adalah baterai dan *controller* (BCR) yang memiliki usia hidup adalah 5 tahun. Selama masa hidup PJU PV yang usia hidupnya 25 tahun, maka perlu penggantian sebanyak 4 kali pada tahun 5, 10, 11, dan 20 masing-masing sebesar Rp 84.000.000,00 yang nanti akan berdampak pada bertambahnya nilai investasi pada tahun-tahun tersebut. Besar biaya penggantian totalnya adalah Rp 336.000.000,00. Biaya investasi selama 25 tahun penerangan jalan umum dengan tenaga surya adalah penjumlahan dari investasi baru dan biaya penggantian yang nilainya adalah Rp 1.033.450.000,00.

3.3.2 Cash Flow PJU PV

Perhitungan *cash flow* untuk PJU PV adalah dengan cara menganggap biaya tagihan listrik PLN sebagai nilai pendapatannya. Biaya penggunaan energi listrik tersebut dipengaruhi oleh besarnya daya langganan beban ke perusahaan penyedia energi listrik dan daya lampu yang terpasang pada masing-masing titik PJU. Pada kajian ini menggunakan tarif bulan Juni, yaitu Rp. 1524,24/kWh dan pada Tugas Akhir ini diasumsikan PJU beroperasi selama 8 jam per hari dengan 1 bulan terdapat 30 hari. Dapat diketahui perhitungan biaya energi listrik tiap bulan untuk PJU adalah sebagai berikut:

Berdasarkan perhitungan sebelumnya mengenai kebutuhan daya penggunaan penerangan jalan umum dengan diperoleh sebesar 2,01 kW maka besarnya daya semu didapatkan:

$$S = P / \cos \theta$$

$$= 2,01 / 0,85$$

$$= 2,36 \text{ kVA}$$

Berdasarkan besaran daya yang disediakan PT. PLN (Persero), dengan kebutuhan daya untuk keperluan Penerangan Jalan Umum sebesar 2,36 kVA maka diperlukan daya sambungan atau langganan PLN / APP sebesar 1x 3,5 kVA. Berikut ini perhitungan biaya listrik PJU dengan daya langganan 3,5 kVA.

- a. Biaya Beban = $40 \times 1 \times 3,5 \times 1524,24$
= Rp 213.393.06
- b. Biaya Pemakaian = $32 \times 0,06 \times 8 \times 30 \times 1524,24$
= Rp 702.369.79
Biaya Pemakaian = $3 \times 0,03 \times 8 \times 30 \times 1524,24$
= Rp 32.923.58
Total Biaya Pemakaian = Rp 735.293.37

Biaya listrik per bulan
= Rp 213.393.06 + 735.293.37 = Rp 948.686.43

Biaya listrik per tahun
= $12 \times \text{Rp } 948.686.43$ = Rp 11.384.237.16

3.3.3 Perhitungan Cost Benefit Analysis

Berdasarkan Tabel 4.10 cash flow untuk PJU PV adalah sebesar nilai biaya listrik per tahun apabila menggunakan sumber PLN. Berikut perhitungan *cost - benefit analysis*.

a. Net Present Value (NPV)

NPV digunakan untuk mengetahui berapa keuntungan bersih 25 tahun yang akan datang dengan mempertimbangkan *time value of money* yaitu tingkat suku bunga yang ditetapkan oleh suku bunga sebesar 7,5%. PJU sumber PV tidak dijual ke masyarakat oleh karena itu pendapatan dari sistem PJU ini diasumsikan dengan biaya tagihan listrik yang harus dibayarkan ke PLN setiap tahunnya (*shadow price*) sebesar Rp 11.384.237,16.

Program *Excel* berdasarkan Persamaan 2-11 digunakan untuk mendapatkan nilai NPV dan di dapat hasil sebesar Rp 817.897.114,37.. Hal ini berarti bahwa pembangunan PJU dengan sumber PV akan menambah pendapatan bersih sebesar Rp 817.897.114,37.

b. Payback Period

Metode ini digunakan untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk pengembalian investasi. *Cash flow* tiap tahun adalah tetap maka dengan menggunakan Persamaan 2-11 di dapat hasil sebagai berikut :

$$\begin{aligned} np &= \frac{697.450.000,00}{11.834.237,16} \\ &= 61,26 \text{ tahun (dibulatkan kebawah)} \\ &= 61 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut berarti pembangunan PJU dengan sumber PV membutuhkan waktu 61 tahun untuk pengembalian investasi. Masa pengembalian investasi tergolong cukup lama hal ini dikarenakan nilai *cash flow* yang masuk per tahun terlalu sedikit apabila dibandingkan dengan nilai investasi yang cukup besar sehingga dibutuhkan waktu pengembalian yang cukup lama.

c. Internal Rate of Return (IRR)

IRR menunjukkan tingkat bunga atau *rate of return* pada saat nilai sekarang dari akumulasi arus kas bersih (*net cash flow*) suatu investasi dikurangi dengan nilai investasi awalnya sama dengan nol atau tingkat bunga pengembalian pada saat NPV = 0. Nilai investasi sebesar Rp 697.450.000,00, *net cash flow* sebesar Rp 11.384.237,16 maka dengan menggunakan Program *Excel* diperoleh nilai IRR sebesar 24%. Berdasarkan tingkat bunga (IRR) sebesar 24% dibandingkan dengan tingkat suku bunga yang berlaku yaitu 7,5% maka investasi pembangunan PJU sumber PV layak dilakukan dan dapat memberikan keuntungan bagi investor maksimum 24%.

Cost benefit analysis untuk pembangunan penerangan jalan umum dengan sumber PV ini layak untuk dilakukan karena akan memberikan nilai keuntungan senilai maksimum 24% dan akan menambah pendapatan bersih sebesar Rp 817.897.114,37 (NPV) pada 25 tahun yang akan datang dengan memperhitungkan tingkat suku bunga. Tetapi masa pengembalian uang yang sudah di inestasikan tergolong lama yaitu 61 tahun karena nilai *cash flow* yang terlalu rendah tidak sebanding dengan nilai investasi yang cukup besar.

3.4 Analisis Evaluasi PJU Sumber PLTS dari Segi Lingkungan

Perumusan emisi GRK dengan menggunakan faktor emisi dalam *IPCC Guidelines* 2006 adalah sebagai berikut:

Penurunan emisi = Emisi baseline – Emisi PLTS

$E = A \times EF$

Berdasarkan rumus dan tabel diatas maka dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Pembangkit listrik tenaga surya di kompleks kantor kab. Boyolali

- Pembangkitan = 3024 kwh/tahun
- Faktor emisi *baseline* = 0,725 kgCO₂/kwh
- Faktor emisi PLTS = 0 kgCO₂/kwh

Emisi *Baseline*

= satuan aktivitas x faktor emisi *baseline*
= 3024 kwh/tahun x 0,725 kgCO₂/tahun
= 2192,4 kgCO₂/tahun

Emisi PLTS

= satuan aktivitas x faktor emisi PLTS
= 3024 kwh/tahun x 0 kgCO₂/tahun
= 0 kgCO₂/tahun

Penurunan emisi

= Emisi *baseline* – Emisi PLTS
= 2192,4 kgCO₂/tahun - 0 kgCO₂/tahun
= 2192,4 kgCO₂/tahun

Dengan adanya nilai penurunan emisi atau mitigasi pada penerangan jalan umum pada wilayah tersebut maka dapat dikatakan bahwa pemerintah kabupaten boyolali telah menyumbang sebesar 2192,4 kgCO₂/tahun untuk perwujudan pelaksanaan penurunan emisi gas rumah kaca. Penurunan emisi gas rumah kaca ini dilakukan sesuai dengan peraturan yang telah dikeluarkan oleh pemerintah untuk salah satu upaya untuk menurunkan emisi GRK sebesar 26% pada tahun 2020 dari tingkat BAU (*Business as Usual*) dengan usaha sendiri dan mencapai 41% apabila mendapat dukungan internasional. Yaitu sesuai dengan UU Nomor 31 Tahun 2009 tentang Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, Pasal 65 ayat (3) huruf a, bahwa untuk perumusan kebijakan perubahan iklim dilakukan inventarisasi emisi GRK, Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca dan Peraturan Presiden Nomor 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional.

Menggunakan analisa lingkungan sumber yang baik untuk digunakan pada penerangan jalan umum ini adalah menggunakan sumber PLTS. Karena PLTS tidak memiliki faktor emisi. Selain itu dengan menggunakan PLTS maka akan dapat membantu dunia untuk mengatasi pemanasan global akibat perubahan iklim. Karena sesuai dengan peraturan pemerintah juga yang meminta untuk penggunaan sumber energi yang terbarukan karena semakin lama bahan bakar fosil akan habis. Oleh karena itu perlu digunakan energi yang memiliki jumlah yang besar dan ramah lingkungan.

3.5 Analisis Pembangunan PJU PV

Kajian secara ekonomi dilakukan dengan *cash benefit analysis* dimana nilai investasi awal untuk pembangunan PJU PV ini sangat besar yaitu Rp 697.450.000,00 sehingga di dapatkan nilai pengembalian investasi yang cukup lama yaitu 61 tahun dan dengan analisa lingkungan maka pembangunan PJU PV akan memberikan penurunan emisi gas rumah kaca sebesar 2192,4 kgCO₂/tahun. Secara analisis ekonomi pembangunan dengan PV memang masih tergolong mahal, tetapi tetap menghasilkan keuntungan meskipun pengembalian investasinya membutuhkan waktu yang cukup lama. Berdasarkan analisis lingkungan manfaat yang di dapatkan dari pembangunan dengan PV ini akan sangat banyak kedepannya. Adanya nilai penurunan emisi gas rumah kaca ini lebih tepat untuk menjadi dasar pembangunan PJU PV ini karena dapat membantu upaya pemerintah untuk menurunkan emisi gas rumah kaca senilai 26%. Hal ini sesuai dengan peraturan pemerintah dalam Undang-Undang nomor 30 tahun 2007 tentang energi yaitu peralihan dari energi fosil menjadi energi terbarukan dan Peraturan Presiden Nomor 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional. PJU PV ini adalah energi terbarukan yang

ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi gas buang berupa CO₂ dimana emisi ini akan berdampak langsung pada perubahan iklim dimana keadaan bumi kita yang semakin lama semakin memburuk karena adanya pemanasan global.

4. Kesimpulan

Hasil evaluasi secara ekonomi teknik dan lingkungan dalam penerangan jalan umum sumber PV pada Komplek Kantor Kabupaten Boyolali disimpulkan :

1. Dengan lampu LED 30 Watt, ketinggian lampu 7 meter nilai intensitas cahaya 238,85 Candella, iluminasi 0,91 lux dengan lebar jalan 10 meter. Nilai iluminasi tidak sesuai dengan SNI maka digunakan yang sesuai SNI lampu LED 118 Watt.
2. Dengan lampu LED 118 Watt, ketinggian lampu 6 meter, intensitas cahaya 939,49 Candella, iluminasi 3,55 lux. Kebutuhan daya listrik 8,14 kW dan konsumsi energi listrik 65,13 kWh per hari dengan durasi penyalaan lampu 8 jam.
3. Biaya investasi 1 set PJU PV dengan tiang lampu PJU Solar bulat antik 7 m *Double* adalah Rp 19.975.000,00 dan dengan tiang *Single* ornamen adalah Rp 19.425.000,00.
4. Nilai Net Present Value (NPV) PJU Komplek Kantor Kab. Boyolali adalah Rp 817.897.114,37, nilai *payback period* adalah selama 61 tahun, dan nilai IRR adalah 24% maka investasi pembangunan PJU sumber PV layak dilakukan dan dapat memberikan keuntungan bagi investor maksimum 24%.
5. Penurunan emisi pada PJU kompleks kantor Kab. Boyolali adalah 2192,4 kgCO₂/tahun.

Referensi

- [1]. Simpson, Robert S. *Lighting Control: Technology and Applications*. British Library Cataloguing in Publication Data. 2003.
- [2]. Neidle, Michael. *Teknologi Instalasi Listrik*, Jakarta. 1982.
- [3]. Ryer, Alex. *Light Measurement Handbook*. 1998.
- [4]. Badan Standarisasi Nasional, 2008. SNI 7391 *Spesifikasi Penerangan Jalan di Kawasan Perkotaan*, Jakarta: BSN.
- [5]. Marsal, Renaldo. *Kajian Konservasi Energi Penggantian Lampu Jenis HPS dengan LED untuk Penerangan Jalan Umum Kabupaten Banjarnegara*. Univesitas Diponegoro.
- [6]. Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. *Perencanaan Sistem PJU Efisien Energi*. 2014.
- [7]. Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. *Desain Dasar Sistem PV*. 2010.
- [8]. Bachtiar, Muhammad. *Prosedur Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Untuk Perumahan (Solar Home System)*.
litbang.esdm.go.id (Diakses 12 Juli 2015)
- [10]. Kusumayogo, Engga. *Analisis Teknis dan Ekonomis Penerapan Penerangan Jalan Umum Sollar Cell untuk*

Kebutuhan Penerangan di Jalan Tol Darmo.
Universitas Brawijaya.

- [11]. Eugene & Bryghman. *Financial Management*. 2012
- [12]. Balai Besar Teknologi Energi Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, *Perencanaan Efisiensi dan Elastisitas Energi*. Badan Penerbit BPPT, Tangerang Selatan, 2012 .
- [13]. Kementrian Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia, *Emisi Gas Rumah Kaca dalam Angka*. Badan Penerbit Asisten Deputi Urusan Data dan Informasi Lingkungan Kementerian Negara Lingkungan Hidup, Jakarta, 2009.
- [14] Badan Perencanaan Pembangunan Nasional, *Pedoman Pelaksanaan Rencana Aksi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca*. Badan Penerbit Kementerian Badan Perencanaan Pembangunan Nasional, Jakarta, 2011.
- [15]. Republik Indonesia. 2011. *Peraturan Presiden 71 Tahun 2011 Tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional*.
- [16]. Badan Pengkajian Kebijakan Iklim dan Mutu Industri. *Draft Petunjuk Teknis Penghitungan Emisi GRK di Sektor Industri*. 2011.
- [17]. Sosialisasi Pedoman Penyusunan RAD_GRK Bidang Energi (Sektor Energi, Transportasi, dan Industri)
- [18]. hexxamitra.go.id (Di akses 15 Juli 2015)
- [19]. menlh.go.id (Di akses 8 September 2015)
- [20]. Sasmita, M. Arif. *Analisis Perbandingan Pemasangan Lampu Penerangan Jalan Umum antara Sumber PLN dan PLTS di Jalan Sentul Alas Roban Kabupaten Batang*. Universitas Diponegoro