
Evaluasi Penerangan Jalan Umum Salaman – Borobudur Dalam Mendukung Candi Borobudur Sebagai Kawasan Strategis Pariwisata Nasional

Zaenal Arifin¹, Sapto Nisworo², Deria Pravitasari³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tidar

E-mail: zaenal.arifin@students.untidar.ac.id¹, saptonisworo@untidar.ac.id²,
deria.pravitasari@untidar.ac.id³

Article History:

Received: 16 Desember 2022

Revised: 29 Desember 2022

Accepted: 30 Desember 2022

Keywords:

Public Street
Lighting, Illuminance,
Electricity Consumption,
Glare Threshold, Payback
Period.

Abstract: *The focus of this research is to evaluate public street lighting on the Salaman – Borobudur section. The expected goal is to evaluate the lighting of the Salaman - Borobudur public road so that it meets the standards, provides comfort, security, traffic safety for road users, and adds to the aesthetic value of the road environment. The results of the evaluation of street lighting show that the average illuminance value produced by the LPJU does not comply with SNI 7391 : 2008 and the electricity consumption of the LPJU shows waste. Recommendations suggested to overcome this are the replacement of LPJU and pedestrian lights, replacement of LPJU controls with timers, and load discrimination based on hours of operation of pedestrian lights. The simulation results for selecting LPJUs using NIKKON LED 60 Watt lamps produce a strong light of 6.47 lux with a glare barrier of 9% for LPJUs with a 3 m pole arm and 6.52 lux with a glare barrier of 10% for LPJUs with a 1.8 m mast arm, and 2.11 lux for pedestrian lighting using 2 Watt Philips LED lamps is in accordance with SNI 7391: 2008. The energy saving potential from the recommendations suggested in a year is 71,577.96 kWh or 61.57%. The estimated initial investment cost to implement the recommendations is Rp. 629,613,400.00 with a payback period of 7 years for a project period of 20 years.*

PENDAHULUAN

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2016, kawasan Borobudur telah ditetapkan sebagai salah satu Kawasan Strategis Pariwisata Nasional Prioritas atau 10 “Bali Baru” yang dikembangkan. Secara geografis kawasan Borobudur berada pada dataran tinggi yang dikelilingi pegunungan Menoreh. Suhu udara rata – rata kawasan Borobudur 25,62 °C, kelembaban udara 82 %. Curah hujan rata – rata 2.589 mm/tahun, rata – rata hari hujan 121, kecepatan angin 1,8 knot. Dengan ditetapkannya kawasan Borobudur sebagai Kawasan

Strategis Pariwisata Nasional Prioritas kebutuhan akan rehabilitasi jalan, penataan trotoar, serta preservasi dan pelebaran jalan akses menuju ke kawasan Borobudur perlu direncanakan secara terpadu.

Ruas jalan Salaman – Borobudur merupakan ruas jalan provinsi dan akses jalan utama wisatawan domestik maupun mancanegara dari arah Purworejo dan Kebumen ke kawasan wisata Borobudur. Sehingga dengan ditetapkannya kawasan Borobudur sebagai Kawasan Staregis Pariwisata Nasional serta letak dan kondisi geografis kawasan Borobudur, pencahayaan pada ruas jalan Salaman – Borobudur saat malam hari dianggap penting untuk menambah keindahan dan kenyamanan pengguna jalan.

Dari hasil survei pendahuluan yang dilakukan di ruas jalan Salaman – Borobudur pada bulan Januari 2022 saat musim penghujan pada malam hari sering terjadi hujan lebat dan kabut tebal. Selain itu penerangan jalan umum yang terpasang didominasi lampu LED warna putih berdaya 120 Watt dan 100 Watt dengan kuat pencahayaan melebihi batas yang ditentukan untuk jalan kolektor. Menurut Philipplus (2020), penggunaan lampu yang memancarkan warna putih kurang efektif menembus hujan dan kabut. Adapun lampu yang efektif menembus saat terjadi hujan dan kabut adalah lampu yang memancarkan warna kuning.

Selain itu berdasarkan data yang diperoleh dari Dinas Perhubungan Kabupaten Magelang perkiraan konsumsi energi listrik yang dibutuhkan untuk pengoperasian LPJU sejumlah 161 titik dan lampu pedestrian lengan ganda sejumlah 184 titik di ruas jalan Salaman – Borobudur pada bulan November 2021 mencapai 8.475,12 kWh yang beroperasi selama 12 jam setiap harinya. Sehingga berdasarkan survei pendahuluan maka perlu dilakukan evaluasi penerangan jalan umum meliputi kesesuaian penerangan jalan yang terpasang, analisis biaya operasional penerangan jalan, upaya mengatasi pencahayaan pada malam hari saat terjadi hujan lebat dan kabut tebal, serta upaya penghematan energi agar tercipta penerangan jalan umum yang sesuai standar dan efisien dari segi biaya operasional untuk mendukung kawasan Borobudur sebagai Kawasan Strategis Pariwisata Nasional.

Mustaqim dan Haddin (2017), melakukan penelitian tentang perhitungan kuat cahaya pada penerangan jalan umum berstandar SNI 7391 : 2008. Pada penelitian yang dilakukan berfokus pada kesesuaian hasil perhitungan kuat cahaya pada PJU jalan Kaligawe Km-3 sampai Km-6 di Kota Semarang dan perhitungan penggantian lampu PJU yang sesuai standar dengan menggunakan lampu LED.

Shamin dan Demak (2018), melakukan penelitian untuk mengidentifikasi intensitas cahaya dan tingkat Penerangan Jalan Umum (PJU) pada ruas jalan Prof. Dr. Jhon di Kota Gorontalo. Pada penelitian tersebut hanya berfokus pada sudah sesuai atau belum intensitas cahaya dan tingkat Penerangan Jalan Umum (PJU) pada ruas jalan Prof. Dr. Jhon di Kota Gorontalo dengan mengacu pada SNI 04 – 6262 – 2000, namun belum membahas evaluasi perhitungan penggantian lampu, analisis terkait konsumsi energi untuk pengoperasian PJU, serta peluang penghematan energi yang dapat dilakukan.

Hasibuan, dkk (2020), dalam penelitiannya menjelaskan bahwa penggunaan lampu jenis LED mengarahkan pada pemakaian LPJU yang lebih efisien dan hemat energi. Dikatakan pada saat kondisi tertentu, LPJU yang menggunakan teknologi LED dapat mengurangi penggunaan energi hingga 60%. Pada penelitian yang dilakukan berfokus pada simulasi menggunakan lumener LED untuk menggantikan LPJU konvensional, perhitungan konsumsi energi LPJU, serta perhitungan peluang penghematan yang dihasilkan dari penggantian LPJU dengan teknologi lampu LED.

Rudini, dkk (2021), melakukan penelitian untuk menganalisis intensitas cahaya dan tingkat

pencahayaan penerangan jalan umum di jalan tol Kabupaten Pangandaran serta mencari solusi peluang hemat energi yang dapat diaplikasikan. Pada penelitian yang dilakukan berfokus pada kesesuaian intensitas cahaya dan tingkat pencahayaan penerangan jalan umum yang mengacu pada SNI 7391 Tahun 2008 serta penggantian lampu LED sebagai solusi penghematan energi.

Pratama dan Arifin (2021), melakukan penelitian tentang analisis penerangan instalasi penerangan jalan umum di jalan Soekarno - Hatta Pedurungan. Pada penelitian yang dilakukan hanya berfokus pada sudah sesuai atau belum hasil perhitungan kuat cahaya pada penerangan jalan umum berstandar SNI 7391 : 2008, namun belum membahas terkait analisis konsumsi energi PJU dan upaya penghematan yang dapat dilakukan.

Berdasarkan hasil analisis jurnal dan sejenisnya, dalam mendukung tata letak dan pencahayaan yang baik harus didukung dengan perencanaan yang baik pula, mulai dengan penentuan posisi lampu, pemilihan jenis lampu, dan intensitas cahaya yang dihasilkan, sehingga memiliki efisiensi tinggi, mudah dan dengan biaya yang murah (Nasional, 2008). Selain itu dari hasil analisis jurnal topik penelitian mengenai evaluasi penerangan jalan umum memang sudah banyak diteliti. Namun, untuk evaluasi penerangan jalan umum terkait dengan kesesuaian pencahayaan serta mengacu pada SNI 7391 : 2008 dan analisis biaya operasional penerangan jalan serta upaya penghematan energi masih memungkinkan untuk diteliti lebih lanjut.

Dengan demikian, kontribusi penelitian tentang evaluasi penerangan jalan umum pada ruas jalan Salaman – Borobudur adalah menyampaikan hasil penelitian tentang evaluasi penerangan jalan umum terkait dengan kesesuaian pencahayaan, upaya mengatasi pencahayaan pada malam hari saat terjadi hujan lebat dan kabut tebal, analisis biaya operasional serta upaya penghematan energi. Sehingga, hasil dari evaluasi penerangan jalan umum pada ruas jalan Salaman – Borobudur dapat digunakan sebagai sarana pengembangan dan penataan penerangan jalan umum di kawasan Candi Borobudur yang sesuai standar SNI 7391 : 2008 dan efisien dari segi biaya operasional.

LANDASAN TEORI

PJU (Penerangan Jalan Umum) adalah infrastruktur lampu penerangan jalan yang merupakan pelengkap jalan dengan fungsi memberikan penerangan pada ruang lalu lintas di malam hari. Adapun fungsi lain dari penerangan jalan adalah memberikan kenyamanan, keamanan, keselamatan lalu lintas para pengguna jalan, serta menambah nilai estetika atau keindahan lingkungan jalan (Permenhub No. 27, 2018).

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 27 tahun 2018, dalam pengadaan dan pemasangan LPJU (Lampu Penerangan Jalan Umum) beberapa hal yang harus diperhatikan meliputi kuat rata – rata penerangan, distribusi cahaya, ambang batas kesilauan, sudut pemasangan sumber penerangan, serta pemilihan spesifikasi jenis lampu. Adapun sebagaimana disebutkan dalam SNI No. 7391 Tahun 2008, aspek – aspek yang harus diperhatikan dalam perencanaan PJU meliputi beberapa hal, seperti pemilihan jenis dan kualitas sumber cahaya/ lampu, tingkat kebutuhan, biaya operasional dan biaya pemeliharaan, volume lalu lintas, klasifikasi fungsi jalan, geometri jalan, tipikal potongan melintang jalan, situasi (lay-out) jalan, tekstur perkerasan dan jenis perkerasan jalan. Garrido-Jiménez, dkk (2017), menambahkan selain beberapa aspek yang sudah disebutkan bahwa lebar jalan merupakan faktor yang perlu diperhatikan dalam menentukan jarak dan ketinggian lampu penerangan.

Pencahayaan Pada Ruas Jalan

Kualitas cahaya di jalan dapat diukur dengan 2 metode, yaitu iluminansi dan iluminansi.

Berdasarkan jenis/ klasifikasi fungsi jalan, standar kualitas pencahayaan jalan yang termuat dalam SNI No. 7391 : 2008 tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Standar Kualitas Pencahayaan Pada Ruas Jalan

Jenis/ Klasifikasi Jalan	Kuat Pencahayaan (Iluminansi)		Luminansi			Batasan Silau	
	E rata-rata (Lux)	Kemerataan (Uniformity) g1	L rata-rata (Cd/m ²)	Kemerataan (Uniformity)		G	TJ (%)
				VD	VI		
Trotoar	1 - 4	0,10	0,10	0,40	0,50	4	20
Jalan Lokal :							
• Primer	2 - 5	0,10	0,50	0,40	0,50	4	20
• Sekunder	2 - 5	0,10	0,50	0,40	0,50	4	20
Jalan Kolektor :							
• Primer	3 - 7	0,14	1,00	0,40	0,50	4 - 5	20
• Sekunder	3 - 7	0,14	1,00	0,40	0,50	4 - 5	20
Jalan Arteri :							
• Primer	11 - 20	0,14 - 0,20	1,50	0,40	0,50 - 0,70	5 - 6	10 - 20
• Sekunder	11 - 20	0,14 - 0,20	1,50	0,40	0,50 - 0,70	5 - 6	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

Perhitungan Biaya Operasional Penerangan Jalan Umum

Dalam menghitung biaya operasional PJU hal yang dilakukan adalah dengan menghitung daya lampu total, kemudian menghitung energi yang dibutuhkan selama lampu beroperasi, lalu menghitung biaya penggunaan listrik PJU. Biaya penggunaan energi listrik dipengaruhi oleh besarnya daya langganan beban ke perusahaan penyedia energi listrik serta daya lampu yang terpasang pada masing – masing titik PJU. Untuk lampu penerangan jalan umum berdasarkan tarif *adjustment* yang diterbitkan oleh PT. PLN pada bulan Juli 2022, termasuk dalam golongan P-3/TR dengan biaya permaknaan per-kWh adalah senilai Rp. 1.699,53/ kWh. Untuk perhitungan konsumsi energi listrik dan biaya operasional dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (Rudini, dkk (2021) :

$P_{total} = P \times n$	(1)
$E_{load} = P_{total} \times t$	(2)
$Biaya_{total} = E_{load} \times TDL$	(3)

Keterangan :

P_{total} = Daya lampu total (Watt)

P = Daya lampu (Watt)

n = Jumlah lampu

E_{load} = Beban (Wh / Watt hour)

t = Lama pemakaian beban (hour)

$Biaya_{total}$ = Biaya penggunaan listrik (Rp)

TDL = Tarif dasar listrik (Rp. 1.699,53/ kWh)

Perhitungan Iluminansi Penerangan PJU

Sebelum melakukan perhitungan iluminansi pada PJU, dalam penerangan dikenal beberapa istilah, lambang dan metode perhitungan tentang teknik penerangan. Besaran dan satuan yang dipakai dalam perhitungan adalah sebagai berikut (Rudini, dkk (2021) :

1. Fluks Cahaya

Fluks cahaya yang dipancarkan oleh suatu sumber cahaya adalah seluruh jumlah cahaya yang dapat dipancarkan oleh sumber cahaya selama satu detik. Dalam perhitungannya flux cahaya dapat ditentukan dalam persamaan berikut :

$\Phi = \frac{Q}{t}$	(4)
----------------------	-----

Keterangan :

- Φ = Fluks cahaya dalam lumen (lm)
- Q = Energi cahaya dalam lumen jam atau lumen detik
- t = Waktu dalam jam atau detik

2. Intensitas Cahaya (Candela)

Intensitas cahaya adalah arus cahaya yang dipancarkan oleh sumber cahaya dalam satu *cone* atau kerucut cahaya. Intensitas cahaya dapat diartikan fluks cahaya persatuan sudut ruang dalam arah pancaran cahaya yang ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$I = \frac{\Phi}{\omega}$	(5)
---------------------------	-----

Keterangan :

- Φ = Fluks cahaya dalam satuan lumen (lm)
- I = Intensitas cahaya dalam satuan candela (cd)
- ω = Sudut ruang, dalam satuan steradian (4π)

3. Iluminansi (Kuat Pencahayaan)

Iluminansi adalah kuat pencahayaan yang jatuh pada permukaan jalan akibat dari suatu sumber cahaya dalam satuan *footcandle* atau *lux*. Iluminansi juga dapat diartikan jumlah cahaya yang jatuh pada permukaan jalan, dalam satuan lux. Kuat pencahayaan (Iluminansi) penerangan rata – rata secara matematis dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$E = \frac{\Phi}{A}$	(6)
----------------------	-----

Keterangan :

- E = Iluminansi dalam satuan lux (lx)
- Φ = Fluks cahaya dalam satuan lumen (lm)
- A = Luas bidang dalam satuan meter persegi (m^2)

4. Efikasi Cahaya

Efikasi cahaya adalah perbandingan antara jumlah arus cahaya atau *lumens* yang dihasilkan lampu terhadap daya listrik yang dibutuhkan dalam satuan *lumens/watt*. Secara matematis efikasi cahaya dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

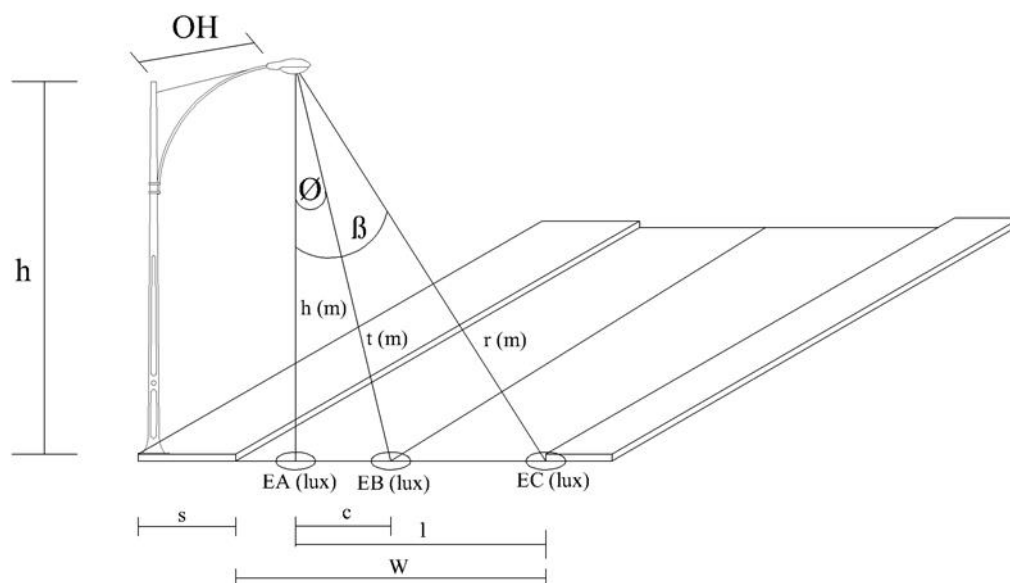
Keterangan :

K = Efikasi cahaya dalam satuan lumen per watt(lm/Watt)

P = Daya listrik dalam satuan Watt (Watt)

Φ = Fluks cahaya dalam satuan lumen (lm)

Perhitungan nilai iluminansi dilakukan pada 3 titik yakni pada bawah lampu, ditengah jalan, dan diujung jalan. Adapun untuk ilustrasi titik perhitungan nilai iluminansi PJU ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi Titik Perhitungan Nilai Iluminansi

Berikut ini adalah uraian rumus menghitung nilai illuminansi pada titik bawah lampu, median jalan, dan diujung jalan (Wotton, 2000).

1. Menghitung iluminansi pada titik bawah lampu

Sebelum menghitung iluminansi pada titik bawah lampu, harus mencari jarak lampu vertikal ke bidang jalan (h). Setelah mendapatkan nilai h , maka nilai iluminansi pada titik bawah lampu vertikal ke bidang jalan dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$EA = \frac{I}{h^2}$	(7)
----------------------	-----

Keterangan :

EA = Iluminansi dalam satuan lux (lx)

I = Intensitas cahaya dalam satuan candela (cd)

h = Jarak lampu vertikal ke bidang jalan (tinggi lampu)

2. Menghitung iluminansi pada titik median jalan

Sebelum menghitung iluminansi pada titik median jalan, harus mencari jarak lampu ke median jalan dengan menggunakan persamaan seperti berikut :

$t = \sqrt{h^2 + c^2}$	(8)
------------------------	-----

Setelah mendapatkan nilai t, maka sudut inklinasi terbentuk dari lampu ke median jalan dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$\cos \varphi = \frac{h}{t}$	(9)
------------------------------	-----

Sehingga nilai iluminansi pada titik median jalan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$EB = \frac{I}{t^2} \cos \varphi$	(10)
-----------------------------------	------

Keterangan :

EB = Iluminansi dalam satuan lux (lx)

I = Intensitas cahaya dalam satuan candela (cd)

h = Tinggi tiang

c = Jarak horizontal lampu ke tengah jalan

t = Jarak lampu ke median jalan

$\cos \varphi$ = Sudut yang terbentuk dari lampu ke median jalan dengan satuan ($^{\circ}$)

3. Menghitung iluminansi pada titik ujung jalan.

Sebelum menghitung iluminansi pada titik ujung jalan, harus mencari jarak lampu ke ujung jalan dengan menggunakan persamaan seperti berikut :

$r = \sqrt{h^2 + l^2}$	(11)
------------------------	------

Setelah mendapatkan nilai r, maka sudut inklinasi terbentuk dari lampu ke ujung jalan dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$\cos \beta = \frac{h}{r}$	(12)
----------------------------	------

Sehingga nilai iluminansi pada titik ujung jalan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$EC = \frac{I}{r^2} \cos \beta$	(13)
---------------------------------	------

Keterangan :

EC = Iluminansi dalam satuan lux (lx)

I = Intensitas cahaya dalam satuan candela (cd)

h = Tinggi tiang

l = Jarak horizontal lampu ke ujung jalan

r = Jarak lampu ke ujung jalan

$\cos \beta$ = Sudut yang terbentuk dari lampu ke ujung jalan dengan satuan ($^{\circ}$)

Perhitungan Kebutuhan Flux Cahaya Pengganti PJU

Sebelum menghitung flux cahaya (lumen) yang dibutuhkan hal yang pertama harus dilakukan adalah menghitung *koeficient of utilization* dari PJU. Adapun untuk menghitung *koeficient of utilization* menggunakan persamaan sebagai berikut (Wotton, 2000):

$$\frac{B}{H} (\text{roadside}) = \frac{W-OH}{H} \quad (14)$$

$$\frac{B}{H} (\text{pavementside}) = \frac{OH}{H} \quad (15)$$

$$U = \frac{B}{H} (\text{pavementside}) + \frac{B}{H} (\text{roadside}) \quad (16)$$

Keterangan :

U = *koeficient of utilization* (%)

W = lebar jalan (m)

OH = *over hung* (m)

H = *high of the lamp* (m)

Setelah *koeficient of utilization* dari PJU diketahui, maka perhitungan kebutuhan flux cahaya (lumen) pengganti LPJU dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$F = \frac{E \times W \times S}{U \times M \times K} \quad (17)$$

Keterangan :

F = *lamp flux* (lumen)

E = *ilumination level* (lux)

U = *koeficient of utilization* (%)

M = *maintenance factor* (=75%)

W = lebar jalan (m)

S = jarak antar tiang (m)

K = *koeficient of lamp flux life* (=75%)

Proyeksi Penghematan Listrik

Proyeksi penghematan energi merupakan hasil penghematan energi listrik selama teknologi beroperasi. Jadi rumus untuk menghitung besarnya penghematan energi dalam satu tahun beroperasi adalah sebagai berikut :

$$E = X - Y \text{ (kWh)} \quad (18)$$

Keterangan :

E = besarnya penghematan energi selama satu tahun (kWh)

X = besarnya penggunaan energi sebelum menerapkan metode (kWh)

Y = besarnya penggunaan energi setelah menerapkan metode (kWh)

Apabila dalam setahun terjadi penghematan energi sebesar E dengan tarif senilai Rp. 1.699,53/ kWh sesuai tarif terbaru yang diterbitkan oleh PT. PLN pada bulan Juli 2022, maka proyeksi dari hasil penghematan selama penggunaan teknologi dalam satu tahun dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$I = \text{Rp.} 1.699,53 / \text{kWh} \times E \quad (19)$$

Keterangan :

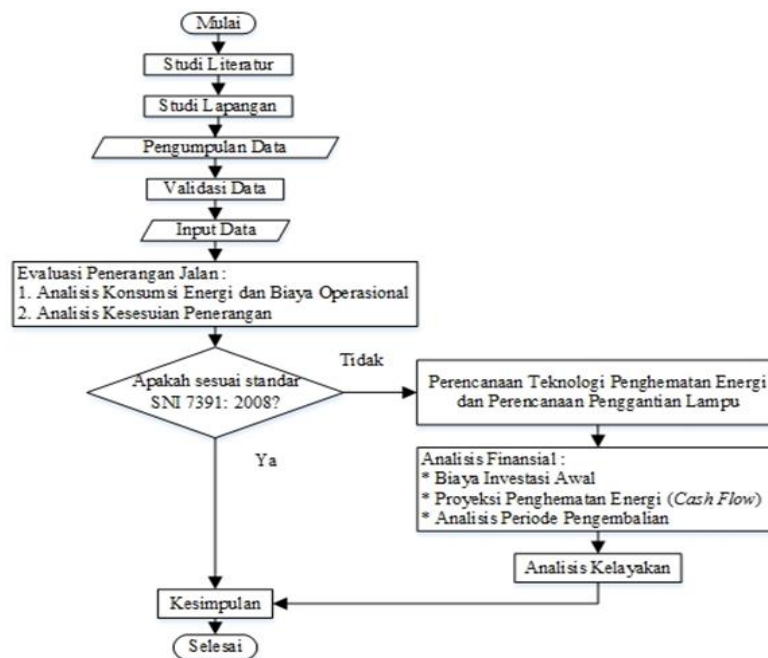
I = proyeksi penghematan energi selama satu tahun (Rp.)

Payback Period

Analisis periode pengembalian atau sering dikenal juga dengan istilah *Payback Period* merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan total investasi yang telah dikeluarkan dari keuntungan yang diperoleh dari proyek. Analisis dilakukan dengan menghitung aliran dana dari tahun ke tahun (Pramudya, 2014).

METODE PENELITIAN

Metode meliputi uraian rinci tentang cara, instrumen, dan teknik analisis penelitian yang digunakan dalam memecahkan permasalahan. Tahapan penelitian dimulai dari studi literatur, studi lapangan, pengumpulan data, validasi data, evaluasi penerangan jalan, perencanaan metode penghematan energi, perencanaan penggantian lampu, analisis finansial, analisis kelayakan, dan yang terakhir adalah kesimpulan. Tahapan penelitian yang akan dilakukan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahap Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan penelitian ini memuat data hasil evaluasi penerangan jalan umum meliputi hasil pengukuran kuat pencahayaan LPJU dan lampu pedestrian, analisis perhitungan perkiraan biaya operasional LPJU dan lampu pedestrian, analisis kesesuaian penerangan yang berisi hasil perhitungan kuat pencahayaan LPJU dan lampu pedestrian. Selain hasil evaluasi penerangan LPJU dan lampu pedestrian pada penelitian juga membahas rekomendasi penggantian lampu dan perencanaan teknologi penghematan energi listrik, serta analisis finansial dan kelayakan dari rekomendasi yang disarankan.

Data Spesifikasi Ruas Jalan Salaman – Borobudur

Ruas jalan Salaman – Borobudur merupakan ruas jalan Provinsi Jawa Tengah dengan fungsi sebagai jalan kolektor. Selain itu ruas jalan Salaman – Borobudur merupakan jalan utama penghubung antara kecamatan Borobudur dan Salaman serta akses jalan utama wisatawan domestik maupun mancanegara dari arah Purworejo dan Kebumen menuju beberapa kawasan wisata di Borobudur. Adapun spesifikasi dari ruas jalan Salaman – Borobudur tertera pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Ruas Jalan Salaman – Borobudur

Panjang Jalan	8,070 Km
Lebar Jalan	7 m
Panjang Trotoar	1,7 Km
Lebar Trotoar	1,3 m
Tinggi Trotoar	10 cm
Status	Jalan Provinsi
Fungsi	Kolektor Sekunder
Perkerasan Jalan	Aspal (Hitam)

Seperti yang tertera pada Tabel 2. diketahui bahwa ruas jalan Salaman – Borobudur sepanjang 8,070 Km dengan lebar jalan 7 m. Selain itu ruas jalan Salaman – Borobudur berstatus jalan Provinsi dengan fungsi sebagai jalan kolektor sekunder.

Data Eksisting dan Spesifikasi PJU

Pada ruas jalan Salaman – Borobudur titik LPJU yang terpasang sejumlah 161 titik dengan jarak pemasangan tiang lampu penerangan jalan umum ke tepi kereb jalan 1,5 m. Kemudian jumlah titik lampu pedestrian lengan ganda yang terpasang 184 titik dengan pemasangan tiang lampu pedestrian pada tepi kereb. Adapun rincian dari jumlah LPJU dan lampu pedestrian yang terpasang pada ruas jalan Salaman – Borobudur tertera pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Eksisting LPJU dan Lampu Pedestrian

No.	Uraian	Daya Lampu	Jumlah Tiang	Jumlah Lampu	Tinggi Tiang	Jarak Antar Tiang	Panjang Lengan Tiang
1	LPJU Merkuri (Philips)	250 W	7	7	9 m	50 m	3 m
2	LPJU SON-T (Philips)	250 W	2	2	9 m	50 m	3 m
3	LPJU LED (Eyelite)	120 W	134	134	9 m	50 m	3 m
4	LPJU LED (Panasonic)	120 W	5	5	9 m	50 m	3 m
5	LPJU LED (Eyelite)	100 W	13	13	9 m	50 m	1,8 m
6	Lampu Pedestrian Lengan Ganda LED (Philips)	9 W	184	368	3,75 m	7,8 m	0,45 m

Pada Tabel 3. yang tertera diatas LPJU yang terpasang pada ruas jalan Salaman – Borobudur terdapat 2 jenis LPJU yakni LPJU LED sejumlah 152 buah dan LPJU konvensional sejumlah 9 buah. Lampu pedestrian lengan ganda yang terpasang pada sejumlah 184 buah. Adapun data teknis lampu yang terpasang pada ruas jalan Salaman – Borobudur tertera pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Teknis LPJU dan Lampu Pedestrian

No.	Uraian	Color Temperature	Color Designation	Luminous Flux	Luminous Efficacy
1	Merkuri 250 W (Philips)	4.100 K	Cool White	12.000 lm	48 lm/ W
2	SON-T 250 W (Philips)	2.000 K	Warm White	32.100 lm	125 lm/ W
3	LED 120 W (Eyelite)	6.000 K	Cool White	16.200 lm	135 lm/ W
4	LED 120 W (Panasonic)	5.000 K	Cool White	14.400 lm	120 lm/ W
5	LED 100 W (Eyelite)	6.000 K	Cool White	14.000 lm	140 lm/ W
6	LED 9 W (Philips)	2.200 – 2.700 K	Warm White	806 lm	89 lm/ W

Dari data teknis lampu yang tertera pada Tabel 4. dapat diamati bahwa lampu yang digunakan pada ruas jalan Salaman – Borobudur memiliki 2 jenis warna yaitu lampu warna putih dengan suhu lampu antara 4.100 – 6.000 K. Selain lampu berwarna putih juga menggunakan lampu berwarna kuning dengan suhu 2.000 – 2.700 K.

Hasil Pengukuran Kuat Pencahayaan LPJU dan Lampu Pedestrian

Pengukuran kuat pencahayaan pada LPJU dan lampu pedestrian dilakukan pada 3 titik pengukuran yaitu pada bawah lampu, ditengah jalan, dan diujung jalan. Untuk pengukuran kuat pencahayaan lampu pedestrian juga dilakukan pada 3 titik pengukuran yaitu pada bawah lampu, ditengah trotoar, dan diujung trotoar. Hasil dari pengukuran kuat pencahayaan (iluminansi) LPJU dan lampu pedestrian dikelompokkan menurut jenis lampu, daya lampu, dan merk lampu yang tertera pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Kuat Pencahayaan LPJU dan Lampu Pedestrian

No.	Uraian	Kuat Pencahayaan (Lux)			Rata - Rata	Standar SNI	Keterangan
		EA	EB	EC			
1	LPJU Merkuri 250 W (Philips)	9,14	5,14	2,86	5,71	3 - 7	Sesuai
2	LPJU SON-T 250 W (Philips)	36	33,5	21,5	30,33	3 - 7	Tidak Sesuai
3	LPJU LED 120 W (Eyelite)	35,17	32,86	24,1	30,71	3 - 7	Tidak Sesuai
4	LPJU LED 120 W (Panasonic)	43,8	37,2	25	35,33	3 - 7	Tidak Sesuai
5	LPJU LED 100 W (Eyelite)	19,15	14,52	8,77	14,15	3 - 7	Tidak Sesuai
6	Lampu Pedestrian LED 9 W (Philips)	27,59	24,38	20,93	24,30	1 - 4	Tidak Sesuai

Seperti yang tertera pada Tabel 5. hasil nilai iluminansi rata – rata LPJU dan lampu pedestrian masih belum sesuai dengan standar SNI 7391 Tahun 2008. Tetera pada TABEL IV nilai iluminansi rata – rata LPJU melebihi standar yang ditentukan yakni 3 – 7 lux. Sedangkan nilai iluminansi rata – rata lampu pedestrian juga melebihi standar yang ditentukan untuk penerangan trotor yakni 1 – 4 lux.

Hasil Perhitungan Perkiraan Biaya Operasional LPJU dan Lampu Pedestrian

Dari hasil survei diketahui LPJU LED beroperasi dari pukul 17.00 – 07.00 dengan sistem kendali penyalan menggunakan *photo cell*, kemudian untuk lampu pedestrian dan LPJU konvensional beroperasi dari pukul 17.30 – 05.30 menggunakan sistem kendali penyalan timer.

Berdasarkan tarif dasar listrik yang diterbitkan oleh PT. PLN pada bulan Juli 2022, LPJU termasuk dalam golongan P-3/TR dengan biaya pemakaian per-kWh adalah senilai Rp. 1.699,53/ kWh. Untuk perhitungan konsumsi energi listrik dan biaya operasional dapat menggunakan persamaan 1, persamaan 2, dan persamaan 3. Perhitungan perkiraan biaya operasional LPJU dan lampu pedestrian yang dilakukan untuk perkiraan selama sehari dan setahun. Hasil perhitungan perkiraan biaya operasional LPJU dan lampu pedestrian pada ruas jalan Salaman – Borobudur tertera pada Tabel 6 seperti berikut.

Tabel 6. Perkiraan Biaya Operasional LPJU dan Lampu Pedestrian

No	Uraian	Jumlah Lampu	Konsumsi Daya Listrik (Watt)	Jam Nyala	Konsumsi Energi Listrik (kWh)		Jumlah Tagihan Rekening (Rp.)	
					Selama 1 Hari	Selama 1 Tahun	Selama 1 Hari	Selama 1 Tahun
1	LPJU Merkuri 250 Watt (Philips)	7	1.750	12	21	7.665	Rp. 35.690	Rp. 13.026.897
2	LPJU SON-T 250 Watt (Philips)	2	500	12	6	2.190	Rp. 10.197	Rp. 3.721.971
3	LPJU LED 120 Watt (Eyelite)	134	16.080	14	225,12	82.168,80	Rp. 382.598	Rp. 139.648.341
4	LPJU 120 Watt (Panasonic)	5	600	14	8,4	3.066	Rp. 14.276	Rp. 5.210.759
5	LPJU 100 Watt (Eyelite)	13	1.300	14	18,2	6.643	Rp. 30.931	Rp. 11.289.978
6	Lampu Pedestrian Lengan Ganda LED 9 Watt (Philips)	368	3.312	12	39,744	14.506,56	Rp. 67.546	Rp. 24.654.334
Total		529	23.542		318,464	116.239,36	Rp. 541.239	Rp. 197.552.280

Seperti yang tertera pada Tabel 6. diatas bahwa perkiraan biaya operasional untuk LPJU dan lampu pedestrian yang terpasang pada ruas jalan Salaman – Borobudur untuk pengoperasian selama sehari biaya yang harus dibayarkan sejumlah Rp. 541,239. Sedangkan perkiraan biaya operasional LPJU dan lampu pedestrian selama setahun total tagihan rekening yang harus dibayarkan sejumlah Rp. 197.552.280. Pada Tabel V terlihat bahwa konsumsi energi listrik tertinggi untuk pengoperasian LPJU LED 120 Watt (Eyelite) selama sehari mencapai 225,12 kWh dan untuk setahun mencapai 82.168,80 kWh. Selanjutnya konsumsi energi listrik tertinggi kedua untuk pengoperasian lampu pedestrian LED 9 Watt (Philips) selama 1 hari mencapai 39,744 kWh dan untuk setahun mencapai 14.506,56 kWh.

Hasil Perhitungan Kuat Pencahayaan LPJU dan Lampu Pedestrian

Perhitungan kuat pencahayaan pada LPJU dan lampu pedestrian dilakukan pada 3 titik perhitungan yaitu pada bawah lampu, ditengah jalan, dan diujung jalan. Untuk perhitungan kuat pencahayaan lampu pedestrian juga dilakukan pada 3 titik perhitungan yaitu pada bawah lampu, ditengah trotoar, dan diujung trotoar. Untuk perhitungan kuat pencahayaan (iluminansi) menggunakan persamaan 7, persamaan 10, dan persamaan 13. Hasil perhitungan iluminansi tertera pada Tabel 7 seperti berikut.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Kuat Pencahayaan LPJU dan Lampu Pedestrian

No.	Uraian	Kuat Pencahayaan (Lux)			Rata - Rata	Standar SNI	Keterangan
		EA	EB	EC			
1	LPJU Merkuri 250 Watt (Philips)	11,79	10,97	7,32	10,03	3 - 7	Tidak Sesuai
2	LPJU SON-T 250 Watt (Philips)	31,54	29,34	19,59	26,82	3 - 7	Tidak Sesuai

3	LPJU LED 120 Watt (Eyelite)	15,92	14,81	9,89	13,54	3 - 7	Tidak Sesuai
4	LPJU LED 120 Watt (Panasonic)	14,15	13,16	8,79	12,03	3 - 7	Tidak Sesuai
5	LPJU LED 100 Watt (Eyelite)	13,75	11,5	7,1	10,78	3 - 7	Tidak Sesuai
6	Lampu Pedestrian LED 9 Watt (Philips)	7,34	6,83	5,63	6,60	1 - 4	Tidak Sesuai

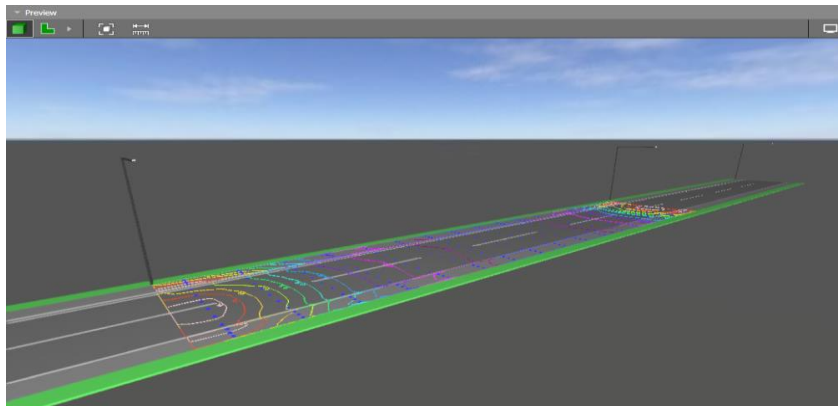
Seperti yang tertera pada Tabel 7. Hasil perhitungan kuat pencahayaan menunjukkan nilai iluminansi rata – rata LPJU dan lampu pedestrian masih belum sesuai dengan standar SNI 7391 Tahun 2008. Tetera pada Tabel 7. nilai iluminansi rata – rata LPJU melebihi standar yang ditentukan yakni 3 – 7 lux. Sedangkan nilai iluminansi rata – rata lampu pedestrian juga melebihi standar yang ditentukan untuk penerangan trotor yakni 1 – 4 lux.

Pembahasan Evaluasi LPJU dan Lampu Pedestrian

Hasil evaluasi LPJU dan lampu pedestrian pada ruas jalan Salaman – Borobudur menunjukkan bahwa nilai iluminansi rata – rata LPJU dan lampu pedestrian pada ruas jalan Salaman – Borobudur belum sesuai dengan standar SNI 7391 Tahun 2008. Selain itu perkiraan biaya operasional LPJU dan lampu pedestrian tergolong boros. Sehingga direkomendasikan penggantian LPJU dan lampu pedestrian menggunakan lampu LED berwarna kuning (*warm white*) untuk mengatasi pencahayaan pada malam hari saat terjadi hujan dan kabut, serta penggantian kendali LPJU dengan timer dan deskriminasi beban berdasarkan jam pengoperasian pada lampu pedestrian.

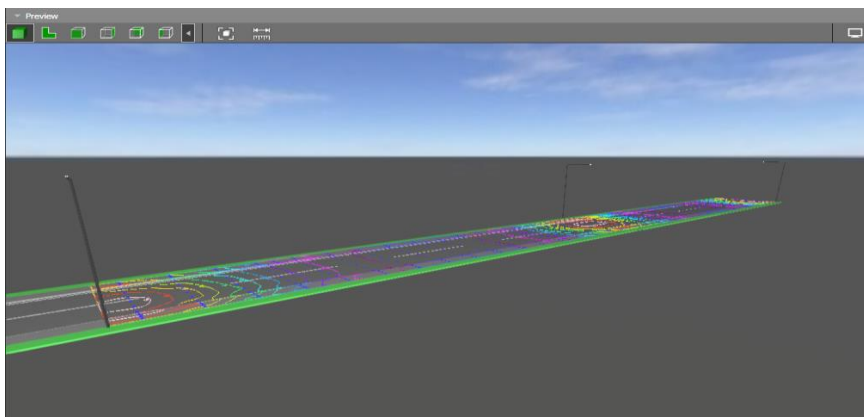
Perencanaan Pengantian LPJU dan Lampu Pedestrian

Hal yang dilakukan pertama untuk pengantian lampu LPJU dan lampu pedestrian yakni menghitung flux cahaya yang dibutuhkan, kemudian menuntukan jenis lampu yang digunakan, dan yang terakhir adalah mensimulasikan penerangan hasil penggantian lampu dengan software Dialux Evo. Untuk perhitungan kebutuhan flux cahaya (lumen) pengganti LPJU dan lampu pedestrian menggunakan persamaan 17. Dari hasil perhitungan flux cahaya yang dibutuhkan untuk penggantian LPJU adalah 5.626 lumen, lampu yang dipilih NIKKON MURA M 60W LED Street Lantern (3000K) (TYPE 3) dengan luminous 8.175. Sedangkan perhitungan flux cahaya yang dibutuhkan untuk penggantian lampu pedestrian adalah 164 lumen, lampu yang dipilih Philips Classic LEDLuster ND 2 - 25W P45 E27 827 CL dengan luminous 300. Hasil simulasi menggunakan software Dialux Evo dari penggantian lampu LPJU dan lampu pedestrian dapat ditunjukkan pada Gambar sebagai berikut.



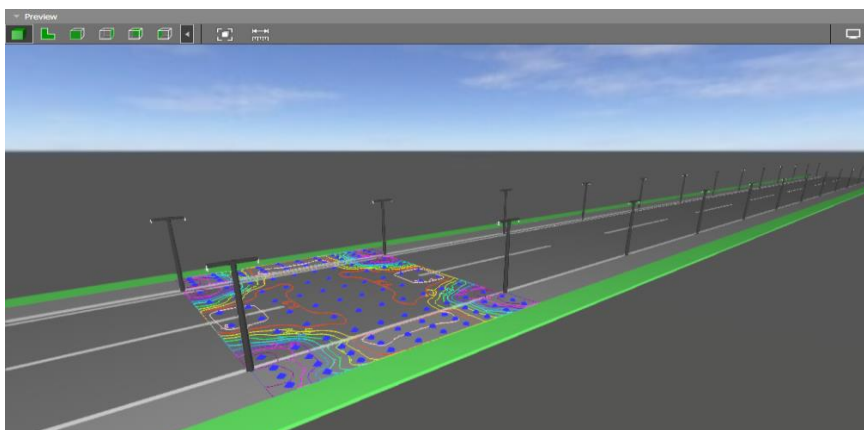
Gambar 3. Hasil simulasi LPJU lengan tiang 3 m dengan lampu NIKKON LED 60 W

Terlihat pada Gambar 3 diatas hasil simulasi LPJU lengan tiang 3 m dengan lampu NIKKON LED 60W menghasilkan nilai iluminansi rata – rata 6,47 lux, nilai pemerataan cahaya sebesar 0,20 lux, dan ambang batas kesilauan 9% sehingga sudah sesuai SNI 7391 : 2008. Untuk hasil simulasi LPJU lengan tiang 1,8 m dengan lampu NIKKON LED 60W ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil simulasi LPJU lengan tiang 1,8 m dengan lampu NIKKON LED 60 W

Pada Gambar 4 diatas terlihat hasil simulasi LPJU lengan tiang 1,8 m dengan lampu NIKKON LED 60W menghasilkan nilai iluminansi rata – rata 6,52 lux, nilai pemerataan cahaya sebesar 0,22 lux, dan ambang batas kesilauan 10% sehingga sudah sesuai SNI 7391 : 2008. Untuk hasil simulasi lampu pedestrian dengan lampu Philips LED 2W ditunjukkan pada Gambar 5.

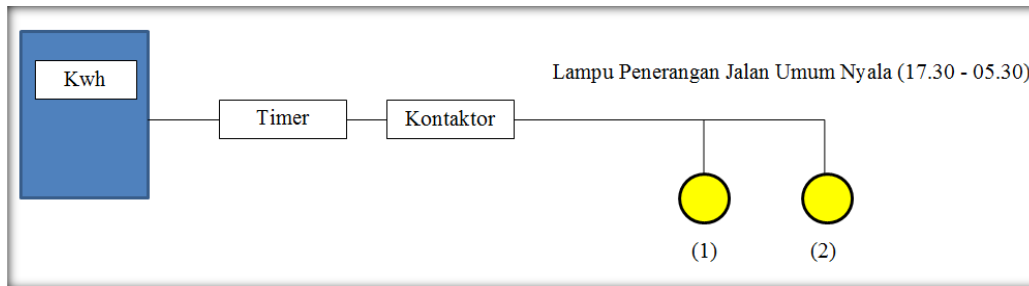


Gambar 5. Hasil simulasi lampu pedestrian dengan lampu Philips LED 2 W

Pada Gambar 5 diatas terlihat hasil simulasi lampu pedestrian dengan lampu Philips LED 2 W menghasilkan nilai iluminansi rata – rata 2,11 lux dan nilai pemerataan cahaya sebesar 0,53 lux. Sehingga kuat pencahayaan (iluminansi) yang dihasilkan sudah sesuai SNI 7391 : 2008.

Perencanaan Penggantian Sistem Kendali LPJU dan Lampu Pedestrian

Skema perencanaan penggantian kendali pengoperasian LPJU dengan menggunakan timer dapat ditunjukkan pada Gambar 6. Adapun waktu pengoperasian LPJU dengan sistem kendali menggunakan timer yakni selama 12 jam dengan tingkat penerangan penuh mulai pukul 17.30 – 05.30.

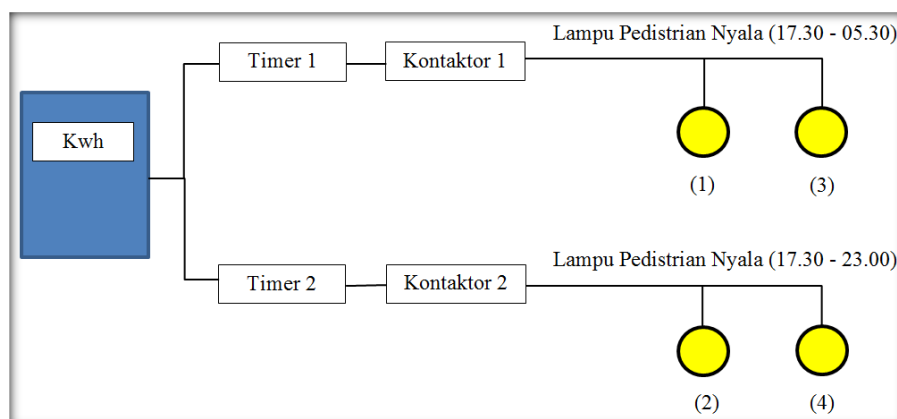


Gambar 6. Skema kendali LPJU dengan timer

Teknis pengoperasian dari penerapan sistem kendali LPJU dengan timer yakni mengatur nyala lampu LPJU selama 12 jam pada pukul 17.30 – 05.30 dengan menggunakan saklar atau kontaktor yang terhubung dengan real time clock atau timer seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Untuk penggantian sistem kendali pengoperasian LPJU dengan menggunakan timer dibutuhkan beberapa komponen diantaranya :

1. Kabel dibutuhkan 3 jenis kabel yaitu NF2X 2 x 6 mm², NYM 2 x 2,5 mm², dan NYA 1 x 4 mm²
2. Kontaktor dan timer
3. MCB (*Miniature Circuit Breaker*)
4. *Stopping buckle* dan *stainless steel strip*
5. *Tap connector*
6. Pengikat plastik

Untuk skema deskriminasi beban berdasarkan jam pengoperasian pada lampu pedestrian dengan menggunakan timer dapat ditunjukkan pada Gambar 7. Penerapan metode deskriminasi beban berdasarkan jam pengoperasian pada lampu pedestrian dengan cara mengurangi beban pada jam operasi 23.00 – 05.30 yaitu dengan mematikan sebagian lampu pedestrian secara selektif berdasarkan survei lalu lintas.



Gambar 7. Skema deskriminasi beban berdasarkan jam pengoperasian pada lampu pedestrian

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 penerapan metode deskriminasi beban berdasarkan jam pengoperasian pada lampu pedestrian yaitu dengan merubah instalasi lampu dan memisahkan antara lampu pedestrian yang bernomor ganjil dan genap kemudian mengatur nyala

lampu pedestrian yang bernomor ganjil pada pukul 17.30 - 05.30 dengan menggunakan saklar atau kontaktor 1 yang terhubung dengan *real time clock* atau timer 1. Dan mengatur nyala lampu pedestrian yang bernomor genap pada pukul 17.30 – 23.00 dengan menggunakan saklar atau kontaktor 2 yang terhubung dengan *real time clock* atau timer 2. Dalam menerapkan metode deskriminasi beban berdasarkan jam pengoperasian pada lampu pedestrian dibutuhkan beberapa komponen diantaranya :

1. Kabel dibutuhkan 3 jenis kabel yaitu NYY 2 x 6 mm², NYM 2 x 2,5 mm², dan NYA 1 x 4 mm²
2. Kontaktor dan timer
3. MCB (*Miniature Circuit Breaker*)
4. Pengikat plastik

Potensi Penghematan Konsumsi Energi Listrik LPJU dan Lampu Pedestrian

Analisis konsumsi energi listrik dari rekomendasi perencanaan penggantian LPJU dan lampu pedestrian, perencanaan kendali LPJU dengan timer, serta deskriminasi beban berdasarkan jam pengoperasian pada lampu pedestrian hal yang dilakukan yakni menghitung perkiraan konsumsi energi listrik LPJU dan lampu pedestrian dari rekomendasi yang disarankan. Untuk menghitung perkiraan konsumsi energi listrik dari rekomendasi yang disarankan menggunakan persamaan 1 dan persamaan 2. Hasil perhitungan konsumsi energi listrik LPJU dan lampu pedestrian dari rekomendasi yang disarankan serta potensi penghematan energi yang dihasilkan tertera pada Tabel 8. sebagai berikut.

Tabel 8. Potensi Penghematan Konsumsi Energi Listrik Penggantian LPJU dan Lampu Pedestrian serta Penggantian Sistem Kendali LPJU dan Lampu Pedestrian

No	Uraian	Jumlah Lampu	Konsumsi Daya Listrik (Watt)	Jam Nyala	Konsumsi Energi Listrik (kWh)	
					Selama 1 Hari	Selama 1 Tahun
1	LPJU LED 60 Watt (Nikkon)	161	9.660	12	115,92	42.310,8
2	Lampu Pedestrian Lengan Ganda LED 2 Watt (Philips)	184	368	12	4,416	1.611,84
2a	Lampu Pedestrian Lengan Ganda LED 2 Watt (Philips)	184	368	5,5	2,024	738,76
Total		529	10.396		122,36	44.661,40
Potensi penghematan energi dalam setahun (kWh)						71.577,96
Prosentase penghematan energi dalam setahun (%)						61,57

Seperti yang tertera pada Tabel 8. dapat diketahui bahwa potensi penghematan energi dari rekomendasi penggantian LPJU dan lampu pedestrian, penggantian sistem kendali LPJU dengan timer, serta deskriminasi beban berdasarkan jam pengoperasian pada lampu pedestrian dalam setahun sebesar 71.577,96 kWh atau sebesar 61,57 %. Ini berarti berpotensi dapat mengurangi tagihan rekening sebesar 61,57 % setiap bulannya.

Analisis Finansial

Untuk analisis finansial dari rekomendasi perencanaan penggantian LPJU dan lampu pedestrian, perencanaan kendali LPJU dengan timer, dan deskriminasi beban berdasarkan jam pengoperasian pada lampu pedestrian yakni dilakukan perhitungan perkiraan biaya investasi, proyeksi penghematan energi, serta analisis kelayakan.

1. Perkiraan biaya investasi/ biaya pertama

Perkiraan biaya investasi awal dari perencanaan penggantian LPJU dan lampu pedistrian serta perencanaan kendali LPJU dengan timer dan deskriminasi beban berdasarkan jam pengoperasian pada lampu pedistrian dirangkum dalam satu tabel yang sering dikenal dengan BQ (*Bill of Quantity*). Adapun tabel BQ (*Bill of Quantity*) dari penggantian LPJU dan lampu pedistrian, serta penggantian sistem kendali LPJU sebagai berikut :

Tabel 9. *Bill Of Quantity* Penggantian LPJU dan Penggantian Sistem Kendali LPJU

No	Deskripsi	Jumlah	Unit	Satuan (Rp.)	Harga (Rp.)
1.	Lampu LED 60 Watt	161	Set	2.900.000	466.900.000
2.	Lampu LED 2 Watt	368	Set	35.900	13.211.200
3.	Kabel				
	NF2X 2 x 6 mm	8.050	Meter	5.500	44.275.000
	NYY 2 x 6 mm	1.840	Meter	28.000	51.520.000
	NYA 1 x 4 mm	160	Meter	5.700	912.000
	NYM 2 x 2,5 mm	2.530	Meter	10.000	25.300.000
4.	Timer	17	Set	149.500	2.541.500
5.	Kontaktor	17	Set	87.000	1.479.000
6.	MCB	16	Set	72.500	1.160.000
7.	<i>Stopping buckle</i>	161	Set	1.200	193.200
8.	<i>Stainless steel strip</i>	90	Meter	4.000	360.000
9.	<i>Tap connector</i>	322	Set	5.200	1.674.000
10.	Kabel ties	5	Bungkus	3.500	17.500
11.	Upah kerja penggantian lampu	345	Pertitik	50.000	17.250.000
12.	Upah kerja instalasi panel box	16	Pertitik	150.000	2.400.000
13.	Transportasi	21	Perhari	20.000	420.000
Total					629.613.400

Seperti yang tersaji pada Tabel 9. investasi awal untuk rekomendasi perencanaan penggantian LPJU dan lampu pedistrian, perencanaan kendali LPJU dengan timer, serta deskriminasi beban berdasarkan jam pengoperasian pada lampu pedistrian adalah Rp. 629.613.400,00. Pada TABEL 9. terlihat bahwa biaya investasi terbesar adalah untuk pembelian lampu penerangan jalan umum LED 60 Watt untuk 161 titik PJU yakni Rp. 466.900.000,00 hal ini terjadi karena mahalnya harga lampu LED untuk PJU yang terdapat dipasaran.

2. Proyeksi penghematan energi listrik (*cash flow*)

Diketahui potensi penghematan energi listrik dari rekomendasi perencanaan penggantian LPJU dan lampu pedestrian, perencanaan kendali LPJU dengan timer, dan deskriminasi beban berdasarkan jam pengoperasian pada lampu pedistrian dalam setahun sebesar 71.577,96 kWh ditunjukkan pada Tabel 8. Jika diketahui tarif *adjustment* yang diterbitkan oleh PT. PLN pada bulan Juli 2022, PJU dan lampu pedistrian termasuk dalam golongan P-3/TR dengan biaya permakaian energi listrik per-kWh adalah senilai Rp. 1.699,53/ kWh, maka proyeksi penghematan energi listrik dapat dihitung menggunakan persamaan 19. Sehingga untuk perhitungan proyeksi penghematan energi listrik dari rekomendasi perencanaan penggantian

LPJU dan lampu pedestrian, perencanaan kendali LPJU dengan timer, dan deskriminasi beban berdasarkan jam pengoperasian pada lampu pedestrian sebagai berikut :

$$I = Rp. 1.699,53/ kWh \times 71.577,96 kWh$$

$$I = Rp. 121.648.890,3588$$

Perhitungan proyeksi penghematan energi listrik dari rekomendasi perencanaan penggantian LPJU dan lampu pedestrian, perencanaan kendali LPJU dengan timer, dan deskriminasi beban berdasarkan jam pengoperasian pada lampu pedestrian dalam setahun yaitu Rp.121.648.890,3588.

3. Analisis aliran laju pengembalian atau *payback period*

Asumsi jumlah tahun yang digunakan dalam penerapan analisis *payback period* ini ditetapkan 20 tahun. Untuk lampu LED PJU dan pedestrian harus diganti setiap 10 tahun sekali karena lampu ini memiliki umur maksimalnya mencapai 10 tahun. Kemudian untuk setiap tahunnya dianggarkan sebesar 10% untuk pemeliharaan dari *cash flow* atau proyeksi penghematan energi listrik. Nilai sisa penggantian lampu diperkirakan 30% dari biaya penggantian lampu LED setiap 10 tahun, dan nilai sisa akhir masa proyek yaitu 20% dari nilai investasi awal. Sedangkan nilai suku bunga sebesar 4,75% mengacu pada suku bunga Bank Indonesia pada bulan Oktober 2022. Dari seluruh pembahasan tersebut dapat diketahui bahwa :

1. P1 (investasi awal) = - Rp. 629.613.400,00
2. A1 (*cash flow*) = Rp.121.648.890,00.*
3. A11 (biaya pemeliharaan) = - Rp. 12.164.889,00 setiap tahun
4. A12 (biaya penggantian lampu) = - Rp. 497.403.200,00 setiap 10 tahun
5. F1 (biaya sisa penggantian lampu) = Rp. 149.220.960,00* setiap 10 tahun
6. F11 (biaya sisa proyek) = Rp. 125.922.680,00* akhir masa proyek
7. n (periode total) = 20 tahun
8. i (suku bunga) = 4,75%

*(+) menunjukkan pemasukan

Pada bagian ini digunakan metode analisis periode pengembalian. Untuk aliran kas dan *payback period* tertera pada Tabel 10.

Tabel 10. Aliran Kas dan *Payback Period*

Tahun ke-n	P1 (Investasi)	A1 (Penghematan)	A11/A12 (Perawatan/Penggantian)	F1/ F11(Sisa)	Kumulatif (Present)
0	-Rp629.613.400				-Rp629.613.400
1		Rp121.648.890	-Rp12.164.889		-Rp550.036.036
2		Rp121.648.890	-Rp12.164.889		-Rp466.678.747
3		Rp121.648.890	-Rp12.164.889		-Rp379.361.986
4		Rp121.648.890	-Rp12.164.889		-Rp287.897.679
5		Rp121.648.890	-Rp12.164.889		-Rp192.088.818
6		Rp121.648.890	-Rp12.164.889		-Rp91.729.036
7		Rp121.648.890	-Rp12.164.889		Rp13.397.836
8		Rp121.648.890	-Rp12.164.889		Rp122.881.827
9		Rp121.648.890	-Rp12.164.889		Rp232.365.828
10		Rp121.648.890	-Rp509.568.089	Rp149.220.960	-Rp6.332.411
11		Rp121.648.890	-Rp12.164.889		Rp103.151.590
12		Rp121.648.890	-Rp12.164.889		Rp212.635.591
13		Rp121.648.890	-Rp12.164.889		Rp322.119.592
14		Rp121.648.890	-Rp12.164.889		Rp431.603.593
15		Rp121.648.890	-Rp12.164.889		Rp541.087.594
16		Rp121.648.890	-Rp12.164.889		Rp650.571.595
17		Rp121.648.890	-Rp12.164.889		Rp760.055.596
18		Rp121.648.890	-Rp12.164.889		Rp869.539.597
19		Rp121.648.890	-Rp12.164.889		Rp979.023.598
20		Rp121.648.890	-Rp509.568.089	Rp275.143.640	Rp866.248.039

Dari analisis periode pengembalian yang tersaji pada Tabel 10. diketahui bahwa dalam jangka waktu 20 tahun nilai kumulatif mencapai nilai nol pada tahun yang ke-7. Artinya secara ekonomis perencanaan penggantian LPJU dan lampu pedestrian, perencanaan kendali LPJU dengan timer, dan deskriminasi beban berdasarkan jam pengoperasian pada lampu pedestrian menguntungkan untuk penghematan pengoperasionalan LPJU dan lampu pedestrian.

Analisis Kelayakan

Secara teknis perencanaan penggantian LPJU dan lampu pedestrian, perencanaan kendali LPJU dengan timer, dan deskriminasi beban berdasarkan jam pengoperasian pada lampu pedestrian dapat diterapkan karena komponen – komponen yang dibutuhkan untuk pembangunannya banyak terdapat dipasaran. Dari perencanaan tersebut menghasilkan penghematan energi listrik yang tergolong besar yakni 61,57% dalam setahun.

Secara finansial mengenai analisis kelayakan dari perencanaan penggantian LPJU dan lampu pedestrian, perencanaan kendali LPJU dengan timer, dan deskriminasi beban berdasarkan jam pengoperasian pada lampu pedestrian menguntungkan karena memiliki periode pengembalian investasi awal 7 tahun seperti yang tertera pada Tabel 10 atau dibawah masa berakhirnya proyek yakni 20 tahun. Sehingga berdasarkan dari hasil analisis teknis dan finansial untuk perencanaan penggantian LPJU dan lampu pedestrian, perencanaan kendali LPJU dengan timer, dan deskriminasi beban berdasarkan jam pengoperasian pada lampu pedestrian layak diterapkan.

KESIMPULAN

Hasil evaluasi penerangan jalan umum pada ruas jalan Salaman – Borobudur menunjukkan nilai iluminansi rata – rata yang dihasilkan LPJU dan lampu pedestrian belum sesuai SNI 7391 Tahun 2008 serta konsumsi energi listrik LPJU dan lampu pedestrian menunjukkan pemborosan. Rekomendasi yang disarankan untuk mengatasi masalah tersebut yaitu penggantian LPJU dan lampu pedestrian, penggantian kendali LPJU dengan timer, serta deskriminasi beban berdasarkan jam pengoperasian pada lampu pedestrian.

Hasil simulasi penggantian lampu penerangan jalan menggunakan lampu NIKKON LED 60 Watt menghasilkan kuat pencahayaan 6,47 lux dengan batas ambang kesilauan 9% untuk PJU lengan tiang 3 m dan 6,52 lux dengan batas ambang kesilauan 10% untuk PJU lengan tiang 1,8 m, serta 2,11 lux untuk penerangan pedestrian menggunakan lampu Philips LED 2 Watt sudah sesuai dengan SNI 7391 : 2008.

Potensi penghematan energi dari rekomendasi penggantian LPJU dan lampu pedestrian, penggantian kendali LPJU dengan timer, serta deskriminasi beban berdasarkan jam pengoperasian pada lampu pedestrian dalam setahun sebesar 71.577,96 kWh atau sebesar 61,57%. Perkiraan biaya investasi awal untuk menerapkan rekomendasi penggantian LPJU dan lampu pedestrian, penggantian kendali LPJU dengan timer, serta deskriminasi beban berdasarkan jam pengoperasian pada lampu pedestrian yaitu tersebut senilai Rp. 629.613.400,00 dengan periode pengembalian 7 tahun untuk masa proyek 20 tahun.

DAFTAR REFERENSI

- Garrido-Jiménez, F. J., Magrinyá, F., del Moral-Ávila, M. C., & Rodríguez-García, G. (2017). The Relationship Between Urban Morphology and Street Lighting Operating Costs: Evidence from Medium-sized Spanish Cities. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 10(3), 381–399.
- Hasibuan, A., Siregar, W. V., & Fahri, I. (2020). the Use of Leds on Public Street Lighting To

-
- Increase. (*Journal of Electrical and System Control Engineering*, 4(1), 18–32.
- Mustaqim, M., & Haddin, M. (2017). Perhitungan Kuat Cahaya Pada Penerangan Jalan Umum Berstandar SNI 7391:2008. *Setrum : Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer*, 6(1), 106. <https://doi.org/10.36055/setrum.v6i1.2260>
- Nasional, B. S. (2008). Spesifikasi penerangan jalan di kawasan perkotaan (Standar Nasional Indonesia 7391 :2008). *Sni 7391:2008*, 1–52.
- Permenhub No. 27. (2018). Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 27 Tahun 2018 tentang Alat Penerangan Jalan. In *Peraturan Menteri Perhubungan No 27 Tahun 2018*.
- Philipplus. (2020). *Perencanaan Sistem Kontrol Lampu Penerangan Jalan Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani*. Universitas Teknologi Yogyakarta.
- Pramudya, B. (2014). *Ekonomi Teknik*. PT Penerbit IPB Press.
- Pratama, W. A., & Arifin, Z. (2021). Analisis Pemasangan Instalasi Penerangan Jalan Umum di Jalan Soekarno-Hatta Pedurungan. 05(02), 3–8.
- Rudini, R., Priatna, E., & Usrah, I. (2021). Analisis Pencahayaan Penerangan Jalan Umum Di Jalan Tol Kabupaten Pangandaran Dan Peluang Hemat Energi. *Journal of Energy and Electrical Engineering*, 3(1). <https://doi.org/10.37058/jeee.v3i1.2693>
- Shamin, N., & Demak, N. A. K. (2018). Evaluasi Tingkat Penerangan Jalan Umum (Pju) Di Kota Gorontalo. *Sekolah Tinggi Teknik (STITEK) Bina Taruna Gorontalo*, 7(1), 44–61.
- Wotton, E. (2000). The IESNA Lighting Handbook and office lighting. *Lighting*, 14.