

Perhitungan Kuat Cahaya Pada Penerangan Jalan Umum Berstandar SNI 7391:2008

Mustaqim, Muhamad Haddin

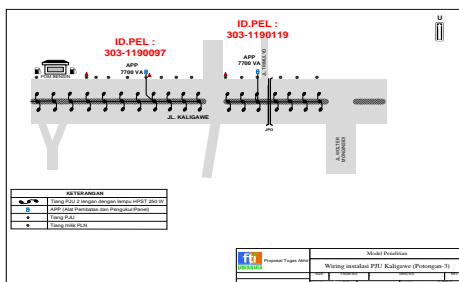
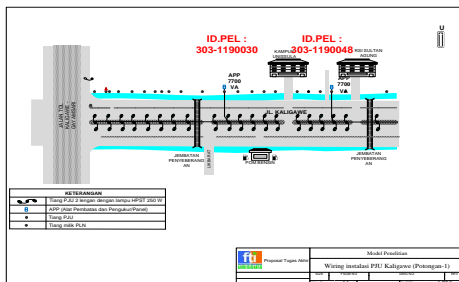
Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang

Informasi Artikel

Naskah Diterima : 16 Maret 2017
Direvisi : 14 April 2017
Disetujui : 15 Juni 2017

***Korespondensi Penulis :**
 haddin@unissula.ac.id

Graphical abstract



Abstract

This paper presents the decreasing the illumination of lamp street lighting (PJU) in Semarang city is mostly due to the lamp life and the use of lamps that still use conventional lamps or pressurized gas lamps such as HPS (high pressure sodium) or lamp type MH (metal halide) , Consequently the level of road safety is disrupted and comfort condition becomes reduced during the night. Types of lights that can be used with strong light reflection, longer charge and lamp life are replacing lamps with LED (light emitting diode) lamp type. The approach step is to calculate the illumination of the emitted light and compare with SNI 7391: 2008 standard on street lighting specification in urban area, then take sample of lamp type that has been installed and according to the standard to replace the decreasing lamp and the calculation of its requirement The results showed PJU on Jl. Kaligawe Km-3 to Km-6 illumination average (E) measured 8.56lux, and calculated 9.92 lux while the illumination average according to the standard is 11-20 lux, therefore it has not met the standard. To meet these standards required replacement lamps with LED type and has a minimum light flux of 30500 lumens.

Keywords: illumination, street lighting, SNI 7391:2008

Abstrak

Paper ini membahas tentang penurunan kualitas kuat cahaya lampu Penerangan Jalan Umum (PJU) di kota Semarang lebih banyak disebabkan karena umur lampu dan penggunaan lampu yang masih memakai lampu konvensional atau lampu gas bertekanan seperti jenis lampu HPS (high pressure sodium) atau jenis lampu MH (metal halide), akibatnya tingkat keamanan di jalan terganggu dan kenyamanan menjadi berkurang pada waktu malam hari. Jenis lampu yang dapat digunakan dengan pertimbangan kuat cahaya lebih terang, biaya dan umur lampu lebih lama adalah dengan mengganti lampu dengan jenis LED (light emitting diode). Tahapan pendekatan yang dilakukan adalah menghitung kuat cahaya yang dipancarkan dan membandingkan dengan standar SNI 7391:2008 tentang Spesifikasi penerangan jalan di kawasan perkotaan, kemudian mengambil sample jenis lampu yang sudah terpasang dan sesuai standar untuk menggantikan lampu yang mengalami penurunan dan perhitungan kebutuhannya. Hasil Penelitian menunjukkan bahwa PJU di Jl. Kaligawe Km-3 sampai dengan Km-6 kuat cahaya rata rata terukur 8,56 lux, dan terhitung 9,92 lux sedangkan kuat cahaya rata rata menurut standar adalah 11-20 lux, oleh karena itu belum memenuhi standar. Untuk memenuhi standar tersebut diperlukan penggantian lampu dengan jenis LED dan mempunyai flux cahaya minimal 30500 lumen.

Kata kunci: kuat cahaya, PJU, SNI 7391:2008

© 2017 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Keberadaan penerangan jalan umum (PJU) sebagai sarana penunjang jalan sangat diperlukan untuk memberikan kenyamanan, keamanan dan keselamatan bagi pengguna jalan. Data PJU Kota Semarang, bahwa lampu lucutan gas intensitas tinggi atau biasa di sebut HID (*high intensity discharge*), khususnya lampu gas sodium tekanan tinggi atau biasa disebut HPS (*high pressure sodium*) sering digunakan untuk PJU di beberapa tempat atau jalan raya. Lampu HPS yang



terpasang saat ini masih ditemukan kendala kurang terang, refleksi cahaya kurang baik, tidak merata dan belum sesuai dengan standar yang berlaku. Standar yang dipakai dalam penerangan jalan umum adalah SNI 7391:2008^[1], yang mengatur tentang spesifikasi penerangan jalan di kawasan perkotaan. Faktor penyebab cahaya PJU masih kurang terang dan belum sesuai standar, antara lain perencanaan, umur lampu (*life time*) yang berpengaruh pada seringnya mengganti lampu dan intensitas cahaya yang dikeluarkan pada masa tertentu. Jenis lampu yang digunakan dan sumber tegangan jala jala, menjadi faktor lainnya yang menunjang efisiensi pencahayaan PJU. Akibatnya PJU yang tidak standar menimbulkan masalah, antara tidak terang, tidak nyaman, dan rawan kejahatan khususnya pada malam hari. Sementara eksternalitas negatif muncul ketika fasilitas PJU tidak berfungsi dan dipelihara dengan baik. Sehingga pengelolaan penerangan jalan umum oleh Pemerintah diharapkan bisa diwujudkan peran sektor akademisi dan masyarakat untuk memantau dan memelihara sebagai fasilitas publik. Akibat lain dari minimnya PJU adalah membuat jarak penglihatan di jalan menjadi terbatas yang berdampak pada meningkatnya kecelakaan membuat pengemudi tidak bisa melihat kondisi kendaraan lain yang saling melintas. Sehingga untuk menghindari berbagai kemungkinan yang dapat terjadi tersebut dan untuk mengatasi pencahayaan PJU yang kurang terang, dilakukan penelitian dan perhitungan dengan menggunakan standar SNI 7391:2008^[1] tentang Spesifikasi Penerangan Jalan di Kawasan Perkotaan agar penerangan di jalan sesuai peruntukannya. Seiring dengan perkembangan teknologi, lampu PJU dari masa ke masa mengalami kemajuan yang pesat dan signifikan, berawal dari lampu pijar dan hingga kini yang paling terbaru adalah lampu dengan teknologi LED (*light emitting diode*). LED memancarkan cahaya putih yang menghasilkan pencahayaan lebih terang dan menggunakan daya listrik yang lebih rendah dibanding lampu gas konvensional yang saat ini digunakan PJU, sehingga bisa menggantikan lampu-lampu jalan yang ada. Kelebihan lainnya PJU LED adalah bisa bertahan lebih lama karena memiliki umur lampu yang panjang sehingga tidak terlalu memerlukan biaya pemeliharaan yang besar jika dibandingkan dengan PJU konvensional. Cahaya lampu LED memiliki waktu hidup lebih lama dari pada lampu jalan konvensional yaitu 50.000 jam lebih, dengan pemeliharaan yang lebih baik.

Penelitian ini membahas tentang perhitungan kuat cahaya pada penerangan jalan umum berstandar SNI 7391:2008^[1]. Sebagai objek penelitian diambil studi kasus di Jl. Kaligawe Km-3 sampai dengan Km-6 Kota Semarang.

2. DASAR TEORI

2.1 Sumber Cahaya

Suatu sumber cahaya akan memancarkan energi dimana sebagian dari energi ini diubah menjadi cahaya tampak. Perambatan cahaya di ruang hampa dilakukan oleh gelombang-gelombang elektromagnetik. Gejala-gejala yang sejenis dengan cahaya adalah gelombang gelombang panas, radio, radar dan sebagainya. Gelombang-gelombang ini hanya berbeda frekuensinya saja.

Macam-macam sumber cahaya modern yang digunakan saat ini adalah lampu dengan klasifikasi dan beberapa karakter cahaya, yaitu:

1. Lampu Pijar

Cahaya lampu pijar dibangkitkan dengan mengalirkan arus listrik dalam suatu kawat halus. Dalam kawat ini energi listrik diubah menjadi panas dan cahaya. Sebagai kawat pijar umumnya digunakan kawat wolfram, karena memiliki titik lebur yang tinggi, yaitu 3.655°K. Kalau suhu kawat pijar wolfram ditingkatkan sampai kira-kira 3.300° K, akan diperoleh lampu dengan fluks cahaya spesifik yang sangat tinggi yaitu 50 lumen per watt (lm/w). Akan tetapi pada suhu ini kawat pijarnya akan terlalu cepat menguap, sehingga umur lampu menjadi terlalu pendek. Suhu yang terlalu tinggi akan mempercepat penguapan kawat pijarnya dan akan memperpendek umur lampunya.

Setelah dipakai sekian lama, fluks cahaya lampu pijar akan menurun. Karena penguapan maka luas penampang kawat pijarnya akan berkurang, sehingga tahanan listriknya akan meningkat dan menyebabkan arus listrik dari lampu pijar tersebut juga akan berkurang. Selain itu, bagian dalam bolanya akan menjadi hitam. Karena itu banyak perusahaan yang menggunakan lampu pijar, akan diganti setelah menyala 700-800 jam, tanpa menunggu putusanya lampu. Penggantian kelompok demi kelompok ini dilakukan bertujuan untuk menghemat banyaknya jam kerja. Lampu-lampu pijar kebanyakan dilengkapi dengan kawat monel, yang dipasang seri didalam lampu. Kawat monel ini

berfungsi sebagai pengaman lebur. Kalau terjadi gangguan hubung singkat di dalam lampu, maka kawat monel tersebut akan lebur sehingga pengaman instalasinya menjadi tidak sampai rusak.

2. Lampu Halogen

Lampu halogen adalah lampu sejenis lampu pijar dimana sebuah filamen wolfram disegel didalam sampul transparan kompak yang diisi dengan gas lembam dan sedikit unsur halogen seperti iodine atau bromin. Iodine atau biasa disebut yodium dalam lampu akan mengalami reaksi kimia, yang mengembalikan wolfram yang telah menguap ke kawat pijar lampu. Jadi dengan mencampurkan sedikit yodium, wolfram yang telah menguap dapat dikembalikan ke kawat pijar. Lampu pijar yodium ini adalah sebuah lampu pijar dengan bola yang sangat panas. Suhu dinding bola mempunyai panas kira-kira 600°C, supaya reaksinya dapat berlangsung dengan baik. Karena itu bola lampu ini terbuat dari kuarsa lampu yodium. Lampu Halogen masa kini memiliki fluxcahaya spesifik 20 lm/w untuk lampu dengan umur 2.000 jam nyala, dan 25 lm/w untuk lampu dengan umur 200 jam. Diameter lampu yodium kira-kira 10mm dan panjangnya 200 mm.

3. Lampu tabung gas

Lampu tabung gas terdiri dari tabung berbagai bentuk yang diisi dengan gas dan uap logam. Gas dalam tabung berfungsi untuk membentuk menyalakan lampunya. Gas yang digunakan adalah gas mulia misalnya neon atau argon. Gas-gas mulia mempunyai sifat tidak melakukan reaksi kimia dengan unsur-unsur lain. Logam-logam yang digunakan adalah natrium, air raksa dan sodium. diantaranya adalah:

a. Lampu natrium

Lampu natrium terdiri dari tabung berbentuk U dengan dua elektroda. Masing-masing elektroda dilengkapi dengan sebuah emiter, tabungnya diisi dengan natrium cair dan suatu gas bantu. Gas bantu yang digunakan biasanya berupa gas neon, karena itu bila baru dinyalakan cahayanya mula-mula berwarna merah. Setelah beberapa saat, sesudah dicapai suhu kerja sebenarnya, baru dipancarkan cahaya yang sebenarnya.

b. Lampu tabung fluoresen

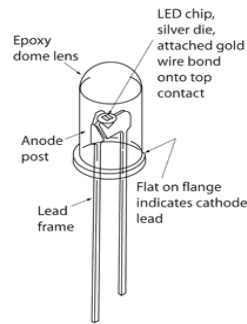
Lampu ini berbentuk tabung, yang bagian dalamnya diberi lapisan serbuk fluoresen. Pada setiap ujung tabung terdapat sebuah elektroda. Elektroda ini terdiri dari kawat pijar dari wolfram dengan sebuah emiter untuk memudahkan emisi elektron-elektron. Tabung fluoresen diisi dengan uap air raksa dan gas mulia argon.

c. Lampu sodium

Jenis lampu berbentuk tabung dan kedua ujungnya terpasang elektroda yang biasanya terdiri dari filamen tungsten. Untuk menjaga dinding tabung dari kerusakan akibat tekanan uap sodium maka tabung gas dibuat dari gelas "*lime borate*" khusus yang tahan terhadap tekanan uap sodium. Cara kerjanya, jika rangkaian lampu dihubungkan terhadap sumber arus bolak-balik, maka arus akan mengalir melalui ballast dan seterusnya ke lampu, Setelah beberapa menit, panas dalam tabung gas akan mencapai temperatur tertentu sehingga sodium yang ada dalam tabung gas akan berubah menjadi uap (vapour) dan hasilnya akan memancarkan cahaya kekuningan.

4. Lampu LED

Lampu *Light Emitting Diode* (LED) merupakan jenis dioda semikonduktor yang dapat mengeluarkan energi cahaya ketika diberikan tegangan listrik. Dengan penggunaan energi yang lebih kecil Lampu LED mampu menghasilkan cahaya yang memiliki 60 - 100 Lumens / Watt dan bahkan teknologi LED ini berkembang seiring kemajuannya karena bahan semikonduktor semakin bagus kualitasnya.



Gambar 1. Struktur dasar LED

Semikonduktor merupakan material yang dapat menghantarkan arus listrik jika diberi energi lebih besar dari 1 eV (Electron Volt). Semikonduktor umumnya dibuat dari bahan dari Golongan IVA seperti silikon (Si), Germanium (Ge) dan Carbon (C) yang diberi 'pengotor' berupa material lain. Dalam LED digunakan konduktor dengan gabungan unsur logam aluminium-gallium-arsenit (AlGaAs). Konduktor AlGaAs murni tidak memiliki pasangan elektron bebas sehingga tidak dapat mengalirkan arus listrik. Oleh karena itu dilakukan proses doping dengan menambahkan elektron bebas untuk mengganggu keseimbangan konduktor tersebut, sehingga material yang ada menjadi semakin konduktif.

2.2 Besaran Satuan Pengukuran

Dalam teknik penerangan dikenal beberapa istilah, lambang dan metode perhitungan yang perlu diketahui untuk memberikan gambaran yang lebih baik tentang teknik penerangan. Besaran dan satuan yang dipakai dalam penghitungan dalam teknik penerangan adalah sebagai berikut:

a. Fluks Cahaya

Fluks cahaya yang dipancarkan oleh suatu sumber cahaya adalah seluruh jumlah cahaya yang dapat dipancarkan oleh sumber cahaya selama satu detik. Jika sumber cahaya ditempatkan dalam suatu reflektor, maka cahaya yang dipancarkan akan diarahkan tetapi jumlah fluks cahayanya tetap, dalam perhitungannya dapat ditulis dalam persamaan (1):

$$\Phi = Q / t \quad (1)$$

dengan :

Φ = Fluks cahaya dalam lumen (lm)

Q = Energi cahaya dalam lumen jam atau lumen detik

t = waktu dalam jam atau detik

b. Intensitas Cahaya (candela)

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 ditulis dengan persamaan (2):

$$I = \Phi / \omega \quad (2)$$

Atau $\Phi = I \times \omega$

dengan :

Φ = fluks cahaya, dalam satuan lumen (lm)

I = intensitas cahaya, dalam satuan candela (cd)

ω = sudut ruang, dalam satuan steradian (sr)^[7]

c. Iluminasi

Iluminasi atau tingkat kuat cahaya penerangan didefinisikan sebagai sejumlah arus cahaya yang jatuh pada permukaan seluas 1 (satu) meter persegi sejauh 1 (satu) meter dari sumber cahaya 1 (satu) lumen dalam satuan Lux. Iluminasi dapat diartikan kerapatan fluks cahaya yang mengenai suatu permukaan, intensitas penerangan rata-rata secara matematis dapat ditulis :

$$E = \Phi / A \quad (3)$$

dengan :

E = illuminasi, dalam satuan lux (lx)

Φ = fluks cahaya, dalam satuan lumen (lm)

A = luas bidang, dalam satuan meter persegi (m²)

Intensitas penerangan pada suatu titik, umumnya tidak sama untuk setiap titik pada bidang tersebut. Intensitas penerangan suatu bidang karena suatu sumber cahaya dengan intensitas, berkurang dengan kuadrat dari jarak antara sumber cahaya dan bidang itu (inversesquare law).

$$E = I/r^2 \text{ lux} \quad (4)$$

dengan :

E = Intensitas penerangan, dalam satuan lux (lx)

r = jari jari pada bidang cahaya, dalam satuan meter (m)

d. Luminasi

Luminasi adalah fluks cahaya per satuan sudut ruang per satuan luas terproyeksi dari arah yang diberikan, atau intensitas cahaya dari suatu permukaan persatuan luas hasil proyeksi dari arah yang diberikan. Luminasi ialah suatu ukuran terang suatu benda, luminasi yang terlalu besarakan menyilaukan mata. Besaran ini mempunyai persamaan (5):

$$L = \Phi / (\omega (A \times \cos\theta)) \quad (5)$$

atau $L = I / (A \times \cos\theta)$

dengan :

L = luminasi dalam satuan candela per meter persegi (cd/m²)

θ = sudut antara penglihatan dengan bidang normal permukaan dalam satuan derajat (°)

Φ = fluks cahaya, dalam satuan lumen (lm)

A = luas bidang, dalam satuan meter persegi (m²)

e. Efikasi Cahaya

Efikasi cahaya adalah perbandingan antar fluks cahaya yang dihasilkan lampu dengan daya listrik yang dipakainya, secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$K = \Phi / P \quad (6)$$

dengan :

K = efikasi cahaya dalam satuan lumen per watt (lm/W)

P = daya listrik dalam satuan Watt (W)

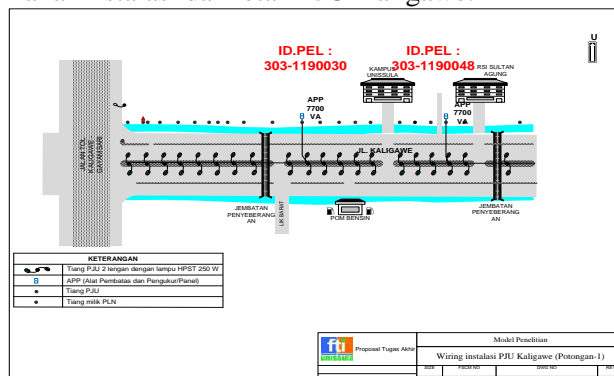
Φ = fluks cahaya, dalam satuan lumen (lm)

3. Metodologi Penelitian

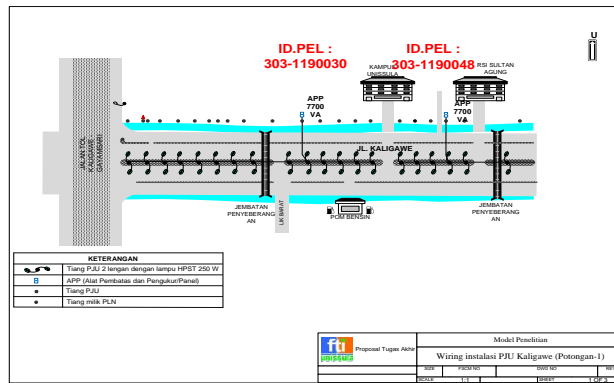
Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Model Penelitian

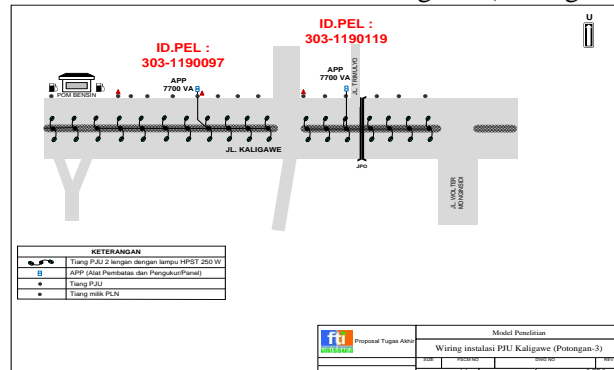
Model penelitian dengan memakai instalasi dan letak PJU Kaligawe.



Gambar 2. Model instalasi PJU Kaligawe (Potongan-1)



Gambar 3. Model instalasi PJU Kaligawe (Potongan-2)



Gambar 4. Model instalasi PJU Kaligawe (Potongan-3)

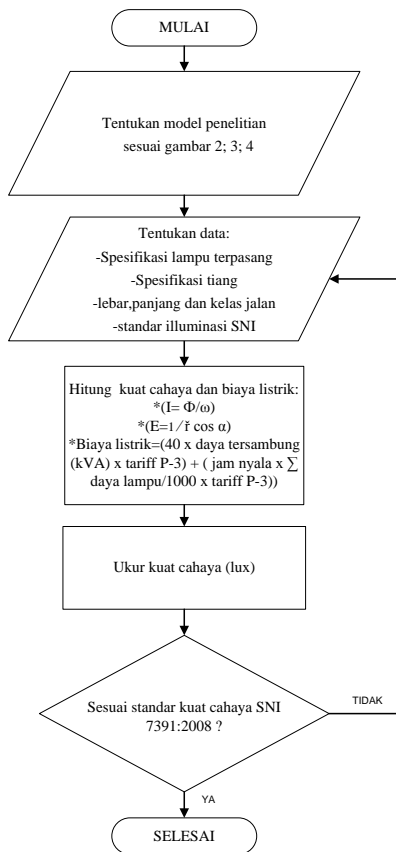
b. Metode Pengumpulan data

Pengumpulan data dimulai dengan pengamatan langsung di lapangan dengan mencari informasi spesifikasi PJU di Jalan Kaligawe Km-3 sampai dengan Km-6 meliputi jenis armature lampu dan daya lampu yang digunakan, tinggi dan jarak tiang penopang lampu, lebar jalan atau klasifikasi jalan. Pengambilan data selanjutnya adalah dengan pengukuran kuat cahaya pada PJU di Jl. Kaligawe pada malam hari untuk mengetahui tingkat iluminasi (kuat cahaya) dengan menggunakan lux-meter. Hasil yang telah didapatkan di uji kesesuaiannya dengan standarisasi sebagai variable tetap atau acuan perhitungan kuat cahaya PJU. Dalam penelitian ini perhitungannya memakai standar SNI 7391:2008.

c. Metode Analisis Data

Menganalisa data dengan menghitung kuat penerangan dengan berdasarkan teori dalam besaran satuan pengukuran cahaya dan menganalisa data dilapangan sebagai data komparatif. Sehingga diketahui data spesifikasi lampu yang yang terpasang, data uji lampu dengan menggunakan software.

3.2 Tahapan Penelitian



Gambar 5. Flowchart Tahapan Penelitian.

1. Model Penelitian

Memahami instalasi dan data titik penerangan jalan di lokasi penelitian dari gambar atau wiring diagram secara utuh dalam penelitian ini.

2. Pengambilan data

Pada tahap ini berisi tentang survey lapangan yang dilakukan di lokasi penelitian untuk mengetahui spesifikasi jalan, spesifikasi lampu, spesifikasi tiang penopang lampu, jarak antara tiang penopang lampu dan data pengukuran kuat cahaya lampu. Data ukur kuat cahaya lampu dari lampu terpasang dan jenis lampu yang sesuai sebagai pengganti lampu yang sudah ada.

3. Menghitung kuat cahaya (E)

Pada tahap ini berisi pengolahan data dan analisa yang didapatkan dari hasil pengambilan data di lapangan.

4. SNI 7391:2008

Sebagai bahan referensi dan valisadi standar kuat penerangan PJU di perkotaan.

3.3 Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian adalah di sepanjang jalan dari terowongan tol Jl. Kaligawe sampai dengan persimpangan (*intersection*) Jl. Kaligawe–Jl. Wolter Monginsidi seperti diperlihatkan dalam Gambar 6.

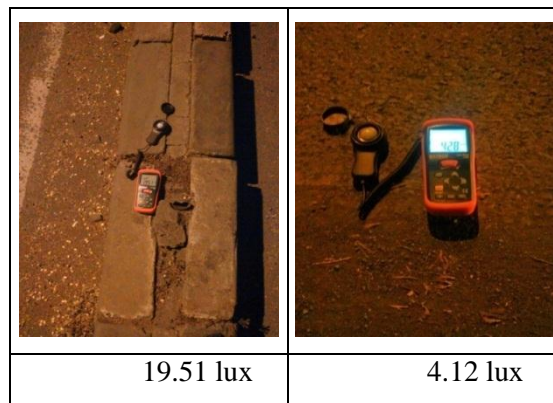


Gambar 6. Lokasi penelitian di Jl. Kaligawe Km-3 sampai dengan Km-6.

4. Hasil Dan Pembahasan

4.1 Evaluasi pencahayaan lampu

Untuk melakukan perhitungan dan evaluasi pencahayaan lampu, langkah yang harus dilakukan adalah menentukan peralatan pengukuran pencahayaan yang akan digunakan yaitu dengan menggunakan luxmeter.



Gambar 6. Foto sampling pengukuran kuat cahaya (E) menggunakan lux-meter.

Hasil pengamatan langsung di jalan kaligawe yang dapat dilihat pada Gambar 6 menunjukkan bahwa kuat cahaya lampu di tiang lampu 9 meter dengan titik 0 dibawah lampu pada radius 4 meter hasilnya adalah 19,51 dan radius 8 meter adalah 4,12 lux. Data pengamatan ini akan dipakai sebagai variable ukur untuk mengetahui kesesuaian kuat cahaya lampu di Jl. Kaligawe pada saat ini.

Tabel 1. Data eksisting PJU di Jl. Kaligawe Km-3 sampai dengan Km-6

No.	Data	Jenis Spesifikasi
1	Jenis Lampu	SON-T 250W E E40
2	Lebar jalan kiri	8< meter
3	Lebar jalan kanan	8< meter
4	lebar median jalan	1 meter
5	Tinggi tiang I	9 meter
6	Tinggi tiang II	12 meter
7	Lengan tiang	1,5 meter

Dari Tabel 1 dan data informasi yang didapat dari dinas terkait, bahwa klasifikasi jalan Kaligawe Km 3+00 sampai dengan Km 6+00 adalah arteri primer dan masuk dalam wilayah kerja Balai Besar Jalan Nasional. Tiang mayoritas menggunakan tiang dengan tinggi 12 meter dan beberapa titik lampu di depan Rumah Sakit Islam Sultan Agung Semarang menggunakan tiang dengan tinggi 9 meter.

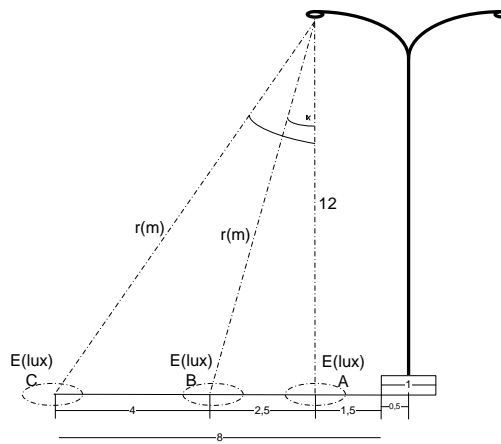
Sehingga dapat disimpulkan bahwa kelas jalan sebagai studi kasus penelitian ini adalah jalan arteri bebas hambatan dan menurut SNI 7391:2008 kuat cahaya (E) rata rata 11-20 Lux.

Tabel 2. Data teknis lampu type SON-T 250W [4]

Light Technical

Color Code	220 [CCT of 2000K]	Lumen Maintenance 5000 h (Nom)	96 %
Luminous Flux (Rated) (Min)	25200 lm	Correlated Color Temperature (Nom)	2000 K
Luminous Flux (Rated) (Nom)	28000 lm	Luminous Efficacy (rated) (Nom)	110 lm/W
Lumen Maintenance 2000 h (Min)	95 %	Color Rendering Index (Max)	25
Lumen Maintenance 2000 h (Nom)	98 %	Color Rendering Index (Nom)	-
Lumen Maintenance 5000 h (Min)	92 %		

Dari data teknis lampu akan diketahui berapa flux cahaya lampu. Untuk memudahkan perhitungan perlu dibuat penggambaran titik lampu pada jalan agar diketahui sudut pencahayaan yang akan dihitung.



Gambar 7. Diagram perhitungan kuat cahaya (E) di jalan

Jadi, sebagai contoh kuat cahaya (E) pada PJU pada titik B pada Gambar 7 dengan jarak dari titik-0 paling bawah adalah 2,5m dan tinggi tiang 12m dapat dihitung sebagai berikut :

Menghitung intensitas cahaya ($I = \Phi/\omega$), sudut ruang cahaya ditentukan dalam satuan seteradian adalah 4π [7] dan dari persamaan efikasi $K=\Phi/P$, Flux dapat dihitung dengan koefisien lampu 110 lm/W (data teknis lampu type SON-T 250W), yaitu : $\Phi = 110 \text{ lm/W} \times 250 \text{ W}$, maka , $I = \Phi/\omega$

$$I = [110 \text{ lm/W} \times 250 \text{ W}] / [4 \times 3,14]$$

$$I = 2189,49 \text{ cd}$$

Menghitung kuat cahaya ($E= I/(r^2) \cos \alpha$) pada titik B.

Pertama, hitung jari jari pencahayaan/ jarak cahaya atau “r”

$$r = \sqrt{2,5^2 + 12^2}$$

$$r = \sqrt{150,25}$$

$$r = 12,25 \text{ m}$$

$$\text{maka, } E = [I/(r^2)] \cdot \cos \alpha$$

$$E = [2189,49/(150,25)] \cdot 12/(12,25)$$

$$E = 14,27 \text{ lux}$$

Dengan memakai persamaan serupa hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan kuat cahaya (E) pada tiang 9 meter dan 12 meter

No.	Tinggi tiang (m)	Hasil perhitungan kuat cahaya dari titik dibawah lampu radius(m)				E rata-rata (Lux)
		0	4	8	17,5	
1.	9	27,0	20,6	11,2	2,5	15,3



		3	3	9	9	8
2.	12	15,2 0	12,9 8	8,76	2,7 5	9,92

Dapat disimpulkan, bahwa kuat cahaya rata rata pada tiang 9 meter adalah 15,38 lux dan kuat cahaya rata rata pada tiang 12 meter adalah 9,92 lux. Pada saat yang sama dilakukan pengukuran langsung kuat cahaya (E) di jalan kaligawe Km-3 sampai dengan Km-6, hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengukuran kuat cahaya (E) pada tiang 9 meter dan 12 meter

No.	Tinggi tiang (m)	Hasil pengukuran kuat cahaya menggunakan luxmeter radius(m)				E rata-rata (Lux)
		0	4	8	17,5	
1.	9	22,63	19,51	4,12	1,51	11,94
2.	12	16,32	12,47	3,99	1,47	8,56

4.2 Analisa perhitungan kuat cahaya

Dari perhitungan dan pengukuran pada tabel 3 dan tabel 4 dapat dilakukan analisa dan perbandingan nilai pengukuran dan perhitungan kuat cahaya (E) serta pemerataan cahaya menurut SNI 7391:2008 sebagai berikut.

Tabel 5. Perbandingan kuat cahaya (E) pengukuran langsung dengan SNI 7391:2008^[1]

No.	Tinggi tiang (m)	E rata-rata (Lux)	E rata-rata (Lux) SNI	Hasil analisa
1.	9	11,94	11-20 Lux	Kurang
2.	12	8.56		

Pada Tabel 5 dijelaskan bahwa hasil pengukuran illuminasi (E) pada tiang 12 meter 8,5 lux, masih kurang memenuhi standar minimal illuminasi menurut SNI 7391:2008.

Tabel 6. Perbandingan kuat cahaya (E) perhitungan rumus dengan SNI 7391:2008^[1]

No.	Tinggi tiang (m)	E rata-rata (Lux)	E rata-rata (Lux) SNI	Hasil analisa
1.	9	15,38	11-20 Lux	Kurang
2.	12	9,92		

Pada Tabel 6 dijelaskan bahwa hasil perhitungan menggunakan teori rumus, pada tiang 12 meter 9,92 lux, masih kurang memenuhi standar menurut SNI 7391:2008.

Jadi, pada jalan tersebut walaupun dengan mengganti lampu baru dengan jenis sama, masih akan kurang memenuhi standar.

Tabel 7. Perbandingan pemerataan cahaya (*Uniformity*) pengukuran langsung dengan SNI 7391:2008^[1]

No.	Tinggi tiang (m)	Kemerataan <i>Uniformity</i> (Emin/Emax)	Kemerataan <i>Uniformity</i> (Emin/Emax) SNI	Hasil analisa
1.	9	0,067	0,14 - 0,20	Kurang
2.	12	0,090		

Untuk mengatasi kurangnya kuat cahaya (E) dan *uniformity* PJU di jalan Kaligawe Km-3 sampai dengan Km-6 adalah dengan mengganti lampu yang sudah ada dengan lampu yang mempunyai flux cahaya yang lebih tinggi dan armatur yang mempunyai daya penyebaran lebih baik agar pemerataan cahaya juga memenuhi standar.

Dari perhitungan diatas pada Tabel 3, dapat dilihat dengan menggunakan lampu 27500 lumen (110 lumen/watt type SON-T 250 W) kuat cahaya (E) rata rata masih kurang memenuhi standar. Kemudian dengan menggunakan perhitungan yang sama, untuk mendapatkan hasil sesuai standar SNI 7391:2008 dapat dihitung dengan meningkatkan nilai flux cahaya berbeda dengan tujuan akan mendapatkan jenis lampu dengan flux cahaya yang sesuai.

Tabel 8. Perhitungan kuat cahaya (E) dengan beberapa jenis Flux cahaya (lm) berbeda.

No	Flux cahaya (lm)	Tinggi tiang (m)	Hasil perhitungan kuat cahaya dari titik dibawah lampu radius(m)				E rata-rata (Lux)
			0	4	8	17,5	
1.	27500	9	27,03	20,63	11,29	2,59	15,38
2.		12	15,20	12,98	8,76	2,75	9,92
3.	30500	9	29,98	22,88	12,52	2,87	17,06

4.		12	16,86	14,40	9,71	3,05	11,01
5.	32000	9	31,45	24,00	13,13	3,01	17,90
6.		12	17,69	15,11	10,19	3,20	11,55

Dari Tabel 8. untuk mencapai standar SNI yaitu 11-20 lux di Jalan Kaligawe Km-3 sampai dengan Km-6 dibutuhkan flux cahaya minimal adalah 30500 lumen yang menghasilkan E rata rata pada tiang 12 meter adalah 11,01 lux. Jadi, dengan memperhatikan teknologi saat ini, kemampuan lampu jenis LED menjadi jenis yang sesuai untuk menggantikan lampu yang sudah ada karena lampu tersebut memiliki flux cahaya yang tinggi dan warna cahaya lebih baik. Dan pilihan lampu yang digunakan adalah lampu yang mempunyai spesifikasi flux minimal 30500 lm.

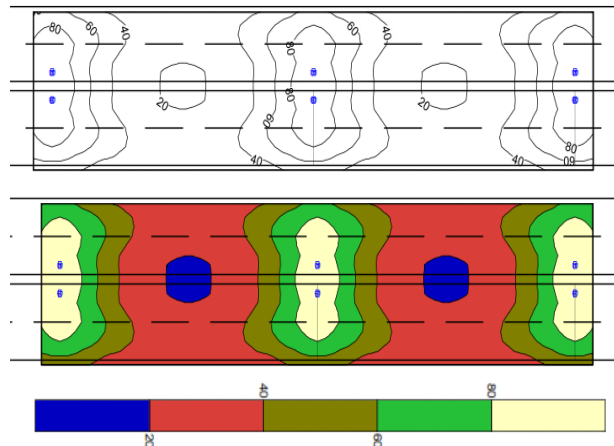
4.3 Analisa pengujian kuat cahaya

Untuk meningkatkan pencahayaan di jalan Kaligawe maka dalam penelitian ini mencoba dengan menggunakan software *calculux road 6.5*.

Dengan program ini, lampu HPS 250 Watt baru dan Lampu LED 200 Watt baru disimulasikan untuk mengetahui tingkat pencahayaannya. Dengan jarak tiang selalu sama yaitu 35 meter, tinggi tiang juga sama yaitu 9 meter, dengan lebar jalan utama 2 x 8 meter.

a. Pencahayaan lampu HPS 250 Watt

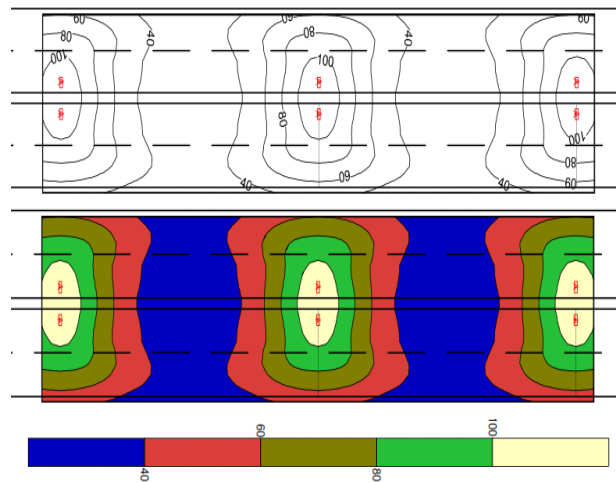
Dengan menggunakan lampu HPS 250 Watt, di dapat hasil dengan simulasi calculux adalah sebagai berikut :



Gambar 8. Hasil simulasi program *calculux road 6.5* pencahayaan lampu HPS 250 Watt
 Terlihat pada Gambar 8 hasil simulasi software *calculux* dengan menggunakan lampu HPS 250 Watt, hasil yang didapat adalah nilai illuminasi (E) tertinggi sebesar 98,3 lux, terendah sebesar 17,9 lux dan rata rata sebesar 49,3 lux. tentu berbeda dengan hasil yang di dihasilkan dengan pengukuran dengan hasil kuat cahaya (E) rata rata hanya sebesar 15,38 lux.

b. Pencahayaan lampu LED 200 Watt

Dengan menggunakan lampu LED 200 Watt, di dapat hasil dengan simulasi calculux adalah sebagai berikut :



Gambar 9. Hasil simulasi program calculux road 6.5 pencahayaan lampu LED 200 Watt

Terlihat pada Gambar 9, hasil simulasi dengan software *calculux* dengan menggunakan lampu LED 200 Watt nilai intensitas kuat pencahayaannya (E) tertinggi sebesar 113,2 lux, terendah sebesar 26 lux dan rata rata sebesar 57,8 lux. Tentunya hasil ini tidak sama persis jika diaplikasikan di jalan.

Hasil jenis lampu ini setelah dipasang di jalan dengan tinggi tiang 9 meter kuat pencahayaannya (E) tertinggi sebesar 58 lux, terendah sebesar 3 lux dan (E) rata rata sebesar 18 lux.

Mengacu pada perhitungan Tabel 8, untuk memenuhi standar SNI 7391:2008 di jalan Kaligawe flux cahaya minimal yang harus digunakan adalah 30500 lumen untuk lampu dengan ketinggian 9 meter dengan kuat cahaya (E) rata rata minimal sebesar 17,06 lux. Jadi lampu yang ideal untuk meningkatkan kuat cahaya di Jl. Kaligawe Km-3 sampai dengan Km-6 adalah jenis lampu LED yang telah disimulasikan pada Gambar 9.

4.4 Analisa biaya listrik

Biaya penggunaan energi lampu PJU adalah biaya yang dikeluarkan setiap bulannya untuk setiap kWh energi listrik yang dipakai. Penetapan penyesuaian tarif tenaga listrik pemerintah diatur dalam (*tariff adjustment*) yang ditetapkan oleh PT. PLN (Persero).

Dengan tarif beban per kWh untuk P-3/TR sebesar Rp 1.410,12 (*Tariff Adjustment*-bulan Agustus 2016) maka dapat dihitung biaya penggunaan energi listrik PJU setiap bulannya, dengan asumsi setiap hari lampu PJU menyala selama 12 jam maka perhitungan biayanya adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Biaya Listrik} &= \text{Biaya Beban} + \text{Biaya Pemakaian} \\ &= (40 \text{ (jam nyala)} \times \text{Daya Tersambung (kVA)} \times \text{tariff P-3}) + (360 \text{ (jam nyala)} \times \Sigma \text{ daya} \\ &\text{lampu}/1000 \times \text{tariff P-3}) \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas maka dapat kita hitung biaya PJU setiap bulannya menurut daya lampunya :

a) Biaya Energi Lampu PJU setiap bulan dengan lampu HPS 250 Watt adalah sebagai berikut:

Contoh perhitungan pada APP- JL.K.GAWE/SMA-SMP S.

- Diketahui : Jumlah lampu = 26 Buah ;
 daya Lampu = 250 W ;
 waktu Nyala = 12 jam (Jam 17.30-05.30) ;
 daya Tersambung = 7700 VA ;

- Berapa biaya tagihan PJU per bulan?

- Jawab : dengan daya diatas 6600 VA menurut tariff adjustment yang berlaku, biaya beban masuk kategori Rekening Minimum-1 (RM1).

Jadi,

$$\begin{aligned} \text{Biaya Listrik} &= (40 \times \text{Daya Tersambung (kVA)} \times \text{tariff P-3}) + (\text{jam nyala} \times \Sigma \text{ daya} \\ &\text{lampu}/1000 \times \text{tariff P-3}) \\ &= [(40 \times (7700/1000) \times 1410,12)] + [(12 \times 30) \times ((250 \times 26)/1000) \times \\ &1410,12] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= (40 \times 7,7 \times 1410,12) + (360 \times 6,6 \times 1410,12) \\
 &= 434.317 + 3.299.681 \\
 &= 3.733.998 \text{ Rupiah}
 \end{aligned}$$

Tabel 9. Perhitungan biaya PJU setiap bulan dengan lampu HPS 250 Watt

NO.	LOKASI	ID.PEL	Daya (VA)	Jumlah Lampu	Daya Lampu (250 W)	Tariff Adjustmen 1410,12	Biaya PJU 1 Bulan (30 hari)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	JL.K.GAWES/MA-SMP S.	523031190030	7.700	26	6.500	1410,12	3.733.998
2	JL.K.GAWE DEPAN UNIS	523031190048	7.700	18	4.500	1410,12	2.718.711
3	JL.K.GAWE/TERMINAL T	523031190055	7.700	10	2.500	1410,12	1.703.425
4	JL.TRIMULYO	523031190063	7.700	20	5.000	1410,12	2.972.533
5	JL.K.GAWE/TRIMULYO	523031190071	7.700	16	4.000	1410,12	2.464.890
6	JL.K.GAWE DEPAN POLS	523031190097	7.700	16	4.000	1410,12	2.464.890
7	JL.K.GAWE/TRIMLYO-K	523031190119	7.700	14	3.500	1410,12	2.211.068
Jumlah Biaya PJU Jl. Kaligawe dengan Lampu 250 W tiap Bulan							18.269.515

b) Biaya Energi Lampu PJU setiap bulan dengan lampu LED 200 Watt adalah sebagai berikut:

Tabel 10. Perhitungan biaya PJU setiap bulan dengan lampu LED 200 Watt

NO.	LOKASI	ID.PEL	Daya (VA)	Jumlah Lampu	Daya Lampu (200 W)	Tariff Adjustmen 1410,12	Biaya PJU 1 Bulan (30 hari)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	JL.K.GAWES/MA-SMP S.	523031190030	7.700	26	5.200	1410,12	3.074.062
2	JL.K.GAWE DEPAN UNIS	523031190048	7.700	18	3.600	1410,12	2.261.832
3	JL.K.GAWE/TERMINAL T	523031190055	7.700	10	2.000	1410,12	1.449.603
4	JL.TRIMULYO	523031190063	7.700	20	4.000	1410,12	2.464.890
5	JL.K.GAWE/TRIMULYO	523031190071	7.700	16	3.200	1410,12	2.058.775
6	JL.K.GAWE DEPAN POLS	523031190097	7.700	16	3.200	1410,12	2.058.775
7	JL.K.GAWE/TRIMLYO-K	523031190119	7.700	14	2.800	1410,12	1.855.718
Jumlah Biaya PJU Jl. Kaligawe dengan Lampu 200 W tiap Bulan							15.223.656

Pada Tabel 9 dan Tabel 10 di atas terlihat bahwa biaya yang harus dibayar untuk penggunaan energi listrik untuk PJU setiap bulannya dengan memakai lampu LED 200W adalah 15.223.656 rupiah lebih murah dibandingkan dengan HPS 250 W yang nilainya sebesar 18.269.515 rupiah.

5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1. Meningkatkan cahaya dan menghitung kuat cahaya (E) PJU harus dengan berstandar SNI 7391:2008 dengan mengukur kuat cahaya (E) langsung dilapangan dengan seksama, menguji dengan software *calculux*, membandingkan dengan perhitungan teori serta mendapatkan nilai ekonomi sebagai investasi penggantian.
2. Pengukuran kuat cahaya PJU di Jl. Kaligawe Km 3+00 sampai dengan Km 6+00 saat ini adalah rata rata 11,94 lux pada tiang 9 meter dan 8,56 lux pada tiang 12 meter, sedangkan standar lux rata rata menurut SNI 7391:2008 adalah 11-20 lux, jadi belum memenuhi standar.
3. Untuk memenuhi standar SNI di Jl. Kaligawe Km 3+00 sampai dengan Km 6+00 adalah dengan mengganti lampu dengan lampu jenis LED dengan flux cahaya minimal 30500 lumen.

5.2 Saran

1. Pemilihan jenis lampu LED sebaiknya memperhatikan pada spesifikasi teknis lumen output, serta dapat dilakukan uji sampling terlebih dahulu, karena perbedaan teknologi masing-masing produsen yang berpengaruh pada efisiensi pencahayaan.
2. Untuk memenuhi standar SNI secara tepat, dapat dipilih jenis lampu yang dapat diatur kuat cahaya yang dipancarkan lampu tersebut.

REFERENSI

- [1] SNI 7391:2008. (2008). *Spesifikasi Penerangan jalan di kawasan Perkotaan*, Badan Standardisasi Nasional,(BSN).

- [2] Muhaimin. (2010). *Teknologi Pencahayaan*, Bandung: PT. Refika Aditama.
- [3] PT. PLN (Persero) (2016). *Penetapan Penyesuaian Tarif Tenaga Listrik (Tariff Adjustment)*, Agustus 2016.
- [4] http://www.lighting.philips.com/main/prof/lamps/high-intensity-discharge-lamps/son-high-pressure-sodium/son-t/928487200098_EU/product.
- [5] Standar Penerangan Jalan berdasarkan CIE 114.
- [6] Van Harten. (2002). *Instalasi Listrik Arus Kuat 2, Edisi ke-4*, Trimitra Mandiri, Jakarta.

