

## **BAB IV**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Hasil Penelitian**

##### **4.1.1. Spesifikasi Lampu PJU**

Spesifikasi merupakan penjelasan atau perincian dari suatu produk (barang). Produk yang dirinci seperti jenis, kapasitas, kemampuan kerja. Dalam hal ini, lampu pada perinciannya antara lain daya, warna cahaya lampu, *armature* dan kabel. Adapun spesifikasi dari lampu LED dan Sodium adalah sebagai berikut.

##### **4.1.1.1. Lampu LED**

Lampu LED merupakan jenis lampu terobosan baru hemat energi. Tidak hanya digunakan pada ruangan saja, LED juga digunakan pada penerangan jalan umum. Selain hemat energi, lampu LED tidak memerlukan pembakaran filamen sehingga tidak menimbulkan panas dalam menghasilkan cahaya. Berikut adalah tabel spesifikasi yang diteliti.

##### **4.1.1.1.1. Tabel Hasil Pengukuran**

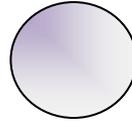
Tabel hasil pengukuran dikenal juga dengan istilah kisi-kisi soal atau *blue print* adalah sebuah tabel analisis yang didalamnya dimuat rincian objek yang diteliti. Lampu LED yang terpasang berada di Tol Bekasi Barat 1. Sampel penelitian lampu LED sebanyak 16 buah lampu. Letak lampu berada pada bahu jalan dengan model *single octagonal* dan *parabole type*. Dengan hasil pengukuran yang ada pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Data Hasil Pengukuran Lampu LED

Sampel	Detail					
	Kabel (mm <sup>2</sup> )	Daya (watt)	Tinggi Tiang (m)	Panjang (m) / sudut stang ( °)	Intensitas Cahaya (lux)	Lebar jalan (m)
Lampu 1	NYFGbY 4x16	110	10	2,2 / 25	30	14
Lampu 2	NYFGbY 4x16	110	10	2,2 / 25	32	14
Lampu 3	NYFGbY 4x16	110	10	2,2 / 25	31	14
Lampu 4	NYFGbY 4x16	110	10	2,2 / 25	34	14
Lampu 5	NYFGbY 4x16	110	10	2,2 / 25	31	14
Lampu 6	NYFGbY 4x16	110	10	2,2 / 25	30	14
Lampu 7	NYFGbY 4x16	110	10	2,2 / 25	32	14
Lampu 8	NYFGbY 4x16	110	10	2,2 / 25	34	14
Lampu 9	NYFGbY 4x16	110	10	2,2 / 25	30	14
Lampu 10	NYFGbY 4x16	110	10	2,2 / 25	31	14
Lampu 11	NYFGbY 4x16	110	10	2,2 / 25	30	14
Lampu 12	NYFGbY 4x16	110	10	2,2 / 25	35	14
Lampu 13	NYFGbY 4x16	110	10	2,2 / 25	34	14
Lampu 14	NYFGbY 4x16	110	10	2,2 / 25	30	14
Lampu 15	NYFGbY 4x16	110	10	2,2 / 25	33	14
Lampu 16	NYFGbY 4x16	110	10	2,2 / 25	32	14
Rata – rata Intensitas Cahaya					31,8	

#### 4.1.1.1.2. Warna Lampu

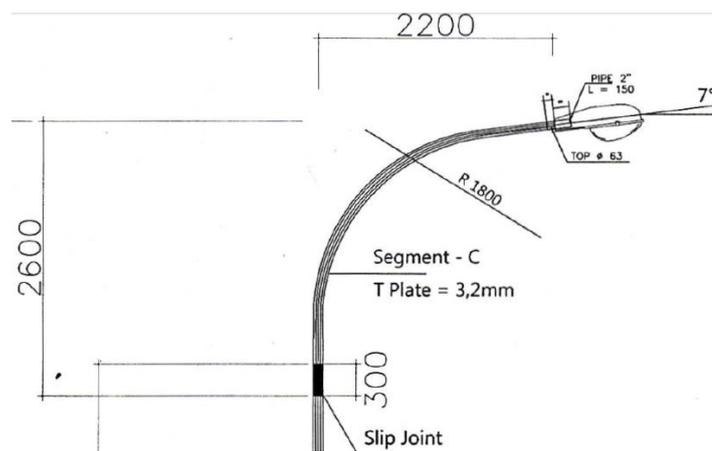
Lampu LED yang digunakan adalah Phillips Green Vision BRP 363 dengan *fitting* warna Grey. Usia (*life time*) lampu 50.000 jamatau setara dengan 5 tahun dengan 240 titik led (Lampiran 8). Adapun warna lampu LED berwarna putih, menghasilkan cahaya yang fokus terhadap titik jalan yang disinarnya.



Gambar 4.1. Warna lampu LED

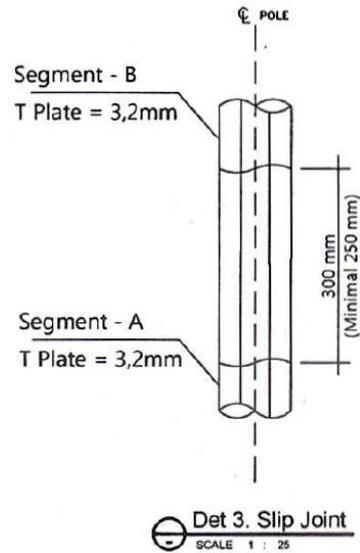
#### 4.1.1.1.3. Armatur dan Pondasi

Armatur atau *fitting* adalah bagian pelindung lampu pada tiang penerangan dan sebagai tempat diletakkannya lampu. Adapun armatur lampu LED ada pada gambar dibawah ini.



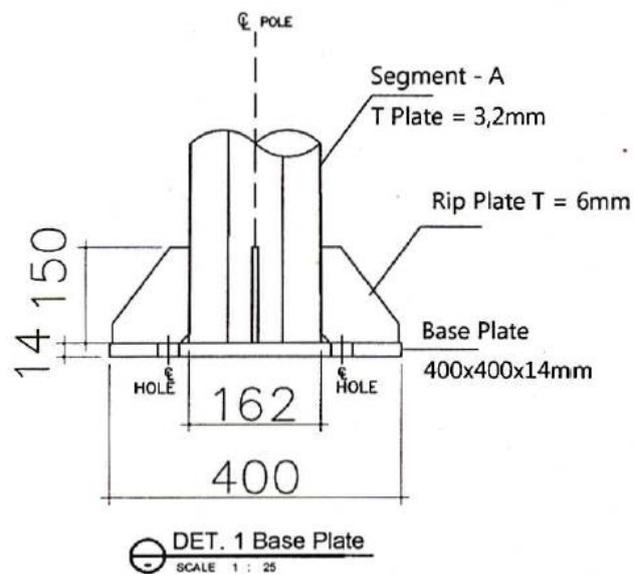
Gambar 4.2. Armatur Lampu *Octagonal Single Parabole*

Pada gambar 4.2. terlihat bahwa tinggi tiang parabola dari *slip joint* sebesar 2600 cm dan panjang *stang ornament* adalah 2200 cm. Diameter pipa adalah 2" sama dengan 5cm. Panjang *slip joint* sebagai pembatas antara *stang ornament* dengan tiang adalah 300 cm. Besar derajat kemiringan lampu terhadap tiang adalah 7°. (Lampiran 9)



Gambar 4.3. *Slip Joint Single Parabole*

*Slip Joint* adalah titik point atau titik sambung lampu penerangan jalan dimana panjang *slip joint* adalah sebesar 300 mm dan *T plate* sebesar 3,2 mm.



Gambar 4.4. Pondasi / *Base Plate*

Dari gambar 4.4. terlihat bahwa tebal besi sisi miring *Rip Plate* pondasi adalah  $6\text{mm}^2$ , tinggi *rip plate* 150 mm dan lebar 119 mm, lebar *Base Plate*  $400 \times 400$  dengan tebal 14mm.

Tiang PJU dipasang dengan jarak paling dekat 100 cm dari tepi jalur kendaraan. Pondasi PJU berbentuk persegi dengan 4 titik *anchor* di setiap sudutnya.



Gambar 4.5. Pondasi PJU

Pondasi tiang PJU menggunakan pondasi beton dengan komposisi campuran semen, batu koral ukuran 2 x 3 cm, pasir dengan perbandingan 1 : 2 : 3.



Gambar 4.6. Batu Koral

#### 4.1.1.2. Lampu Sodium (SON T)

Lampu sodium *tungsten* (disebut juga lampu TH atau cukup disebut lampu sodium) memancarkan cahaya yang lebih terang dan bertahan lebih lama dibandingkan dengan lampu pijar standar. Umur lampu sodium bertahan lebih lama dibandingkan lampu pijar biasa. Umur lampu sodium berkisar antara 2000 jam sampai 10.000 jam. Tipe lampu Sodium yang digunakan pada Tol Bekasi Barat 3 adalah Phillips SRP051 (Lampiran 10).

##### 4.1.1.2.1. Tabel Hasil Pengukuran

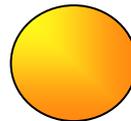
Tabel hasil pengukuran 13lampu Sodium adalah sebagai berikut.

Tabel 4.2. Tabel Hasil Pengukuran Lampu Sodium

Sampel	Detail					
	Kabel (mm <sup>2</sup> )	Daya (watt)	Tinggi Tiang (m)	Panjang (m) / sudut stang ( °)	Intensitas Cahaya (lux)	Lebar jalan (m)
Lampu 1	NYFGbY 4x16	250	10 m	2 / 25	30	14
Lampu 2	NYFGbY 4x16	250	10 m	2 / 25	28	14
Lampu 3	NYFGbY 4x16	250	10 m	2 / 25	25	14
Lampu 4	NYFGbY 4x16	250	10 m	2 / 25	29	14
Lampu 5	NYFGbY 4x16	250	10 m	2 / 25	30	14
Lampu 6	NYFGbY 4x16	250	10 m	2 / 25	28	14
Lampu 7	NYFGbY 4x16	250	10 m	2 / 25	30	14
Lampu 8	NYFGbY 4x16	250	10 m	2 / 25	20	14
Lampu 9	NYFGbY 4x16	250	10 m	2 / 25	25	14
Lampu 10	NYFGbY 4x16	250	10 m	2 / 25	29	14
Lampu 11	NYFGbY 4x16	250	10 m	2 / 25	28	14
Lampu 12	NYFGbY 4x16	250	10 m	2 / 25	25	14
Lampu 13	NYFGbY 4x16	250	10 m	2 / 25	23	14
Rata - rata Intensitas Cahaya					26,9	

#### 4.1.1.2.2. Warna Lampu

Warna lampu SON T berwarna kuning. (Lampiran 10). Dengan *lifetime* 20.000 jam (Lampiran 7). Dan menghasilkan cahaya yang meluas dan menyebar ke setiap jalan yang disinarnya.



Gambar 4.7. Warna lampu Sodium

#### 4.1.1.2.3. Armatur dan Pondasi

Berbeda dengan lampu LED, lampu Sodium dalam instalasinya menggunakan komponen pendukung seperti ballast, ignitor dan kapasitor. Komponen dengan merk Phillips dipilih sebagai komponen pendukung lampu Sodium. Penjelasan komponen tersebut yakni:

##### 1. Ballast

Ballast merupakan komponen penting pada sistem lampu pelepasan gas (*gas discharge*) seperti lampu sodium. Ballast berfungsi sebagai pembatas arus pada lampu.

##### 2. Starter/Ignitor SN 58

Digunakan pada sistem tegangan 220v – 50 hz. Fungsi ignitor sebagai super posisi dari satu atau lebih tegangan beban nol sebelum lampu tersebut benar-benar menyala atau bekerja. Dalam lampu Sodium penerangan jalan umum, istilah ini biasa disebut dengan ignitor.

### 3. Capacitor

Bahan pembungkus kapasitor terbuat dari aluminium atau plastik. Frekuensi nominal 50 hz dengan toleransi +/- 10%. Kapasitor pada lampu sodium berfungsi sebagai peredam arus *start*. Besar dan jumlah kapasitansi kapasitor tidak ditentukan selama dapat menghasilkan  $\cos \phi$  minimal 0.85 dalam suatu rangkaian lampu Sodium. Kapasitor yang digunakan adalah 20 mikrofarad.



Gambar 4.8. Komponen pada lampu Sodium

#### 4.1.1.1.3. Kabel

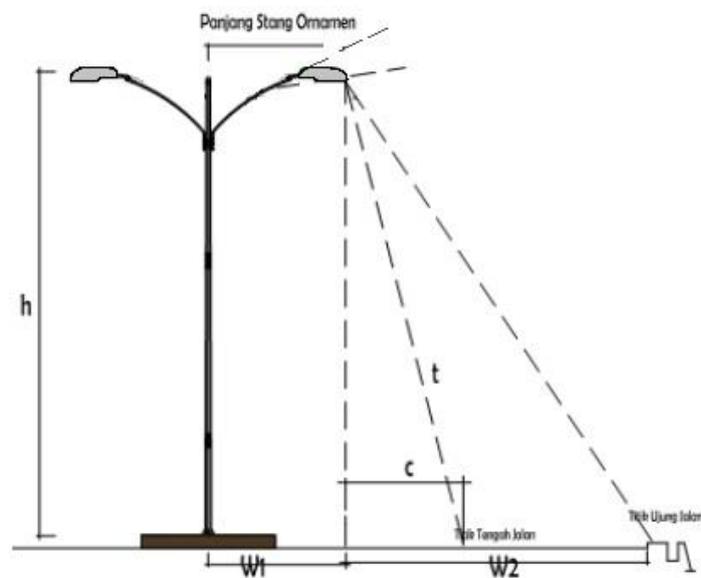
Kabel lampu LED menggunakan kabel NYFGbY 4 x 16mm<sup>2</sup>. 4 kabel yang menandakan RSTN yaitu 3 kabel fasa dan 1 kabel netral. Kabel ini merupakan kabel yang ditanam didalam tanah dengan *low voltage*. (Lampiran 3)

#### 4.1.1.1.4. Tinggi Tiang

##### 1. Katalog

Dalam catalog lampu LED 110 watt, tertera bahwa tinggi tiang yang digunakan adalah 10 m. Tiang yang digunakan untuk lampu LED adalah *Octagonal Single Parabola* dengan tiang membentuk lengkung sedangkan lampu Sodium adalah *Octagonal Single T* dengan tiang membentuk huruf T. Bahan tiang lampu PJU adalah pipa baja galvanis dengan sistem cor.

##### 2. Perhitungan



Gambar 4.9. Skema tiang lampu PJU

Sudut stang ornament sebesar ( $\phi$ ) =  $25^\circ$  (Lampiran 13)

Jarak horizontal lampu-tengah jalan ( $c$ ) =  $(W2 : 2) - W1$

$$= (14\text{m} : 2) - 2,2\text{m} = 4,8\text{m}$$

$$\text{Maka, } \tan \phi = \frac{h}{t}$$

$$\tan 25^\circ = c / h$$

$$0,46 = 4,8 / h$$

$$h = 4,8 / 0,46$$

$$h = 10,43 \text{ m}$$

### 3. Pengukuran

Pengukuran secara lapangan dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu dengan menggunakan *lift car/sky lift* atau dengan menggunakan meteran jalan (*road meter*). *Lift car* dilakukan pada saat *maintenance* bersama teknisi lapangan. Sedangkan meteran jalan digunakan dengan mempersiapkan bambu dengan ukuran tertentu yaitu 2m, arahkan bambu berdiri sejajar dengan tiang PJU. Ukur bayangan yang muncul pada bambu dan tiang PJU. Gunakan rumus perbandingan.

$$X1 = \text{Tinggi tiang PJU}$$

$$Y1 = \text{Tinggi bayangan PJU}$$

$$X2 = \text{Tinggi bambu}$$

$$Y2 = \text{Tinggi Bayangan bambu}$$

Berdasarkan perhitungan lapangan didapat nilai:

$$X2 = 1,6 \text{ m}$$

$$Y2 = 0,69 \text{ m}$$

$$Y1 = 4,56 \text{ m}$$

$$\frac{X1}{Y1} = \frac{X2}{Y2}$$

$$X1 = \frac{7,296}{0,69}$$

$$\frac{X1}{4,56\text{m}} = \frac{1,6\text{m}}{0,69\text{m}}$$

$$X1 = 10,57\text{m}$$

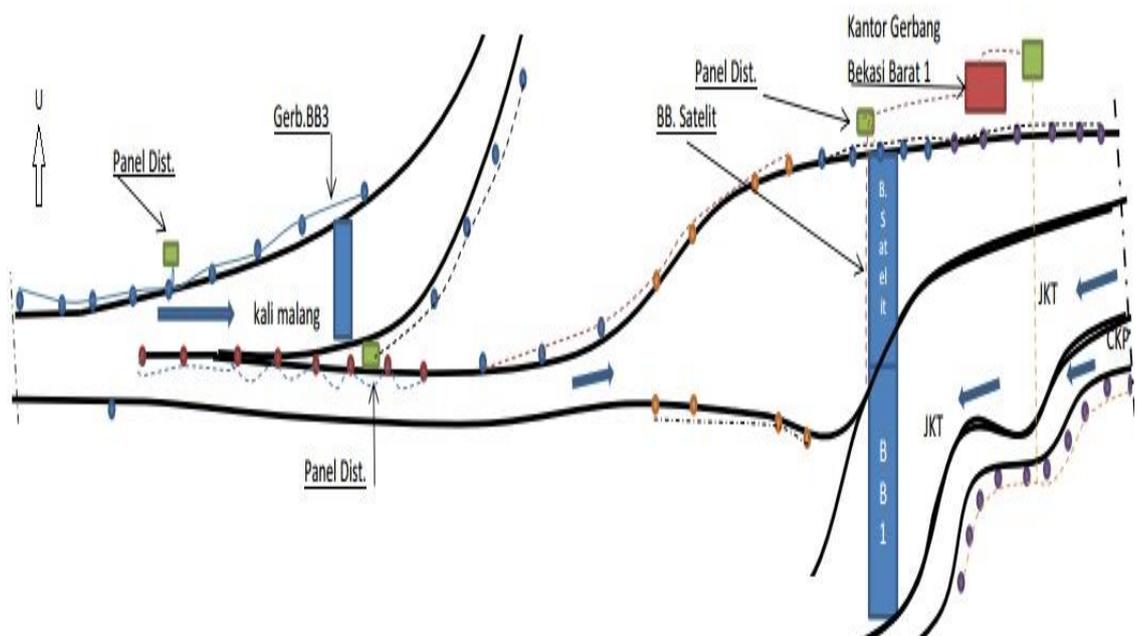
Jadi, tinggi tiang PJU LED menurut catalog adalah 10 m, menurut perhitungan 10,43 m dan menurut pengukuran adalah 10,57m.

Tol Bekasi Barat 1 dan 3 merupakan jalan arteri yang termasuk kelas jalan dengan aktifitas padat. Memiliki Penerangan Jalan Umum dengan tinggi tiang octagonal 10 M dengan lampu LED 110 W. Panjang stang ornament 2,2 M dengan jarak antar tiang 20m.

Maka untuk keseragaman dan keindahan, sesuai dengan SNI 7391 dipilih lampu jenis SON T 250 W dengan tinggi tiang 10 M dan jarak pemasangan lampu 40 M. stang ornament digunakan stang ornament ganda (kiri dan kanan).

#### 4.1.1.1.5. Panel dan Wiring Diagram

Gambar skema yang dibuat berupa jalur-jalur aliran listrik mulai dari input power sampai output. Dibawah ini merupakan skema lapangan gerbang tol bekasi barat 1.(Lampiran 11)



Gambar 4.10. Skema jalan Tol Bekasi Barat 1 dan 3

Keterangan Simbol Gambar:

-  : Panel Distribusi
-  : SON T Double Ornament 250 watt
-  : SON T Single Ornament 250 watt
-  : HP IT 400 watt
-  : LED 110 watt

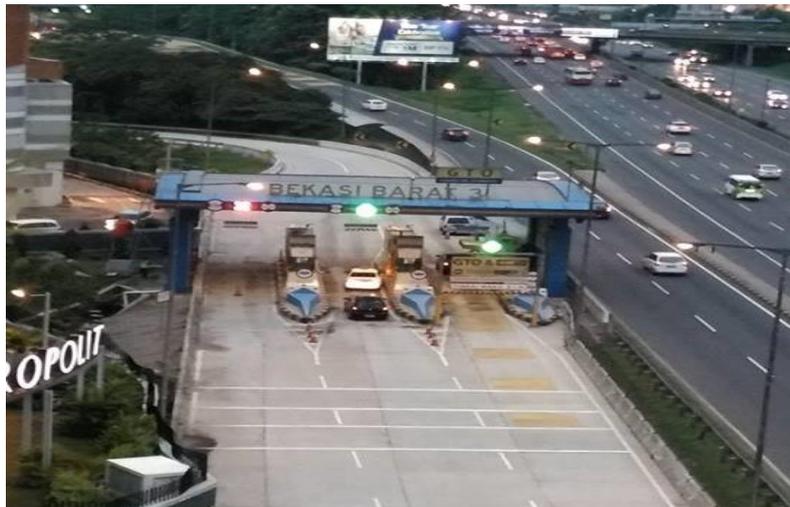
Pada skema jalan tol Bekasi Barat 1 dan 3 terlihat instalasi listrik dari supply menuju beban lampu penerangan jalan umum. Pada tol Bekasi Barat 1 terdapat 16 titik lampu PJU LED sedangkan pada tol Bekasi Barat 3 terdapat 13 titik lampu PJU Sodium.

Pada tol Bekasi Barat 1 dengan Lebar jalan tol adalah 14 m x 2. Adapun gambar dokumentasi lapangan tol Bekasi Barat 1 pada gambar 4.11.

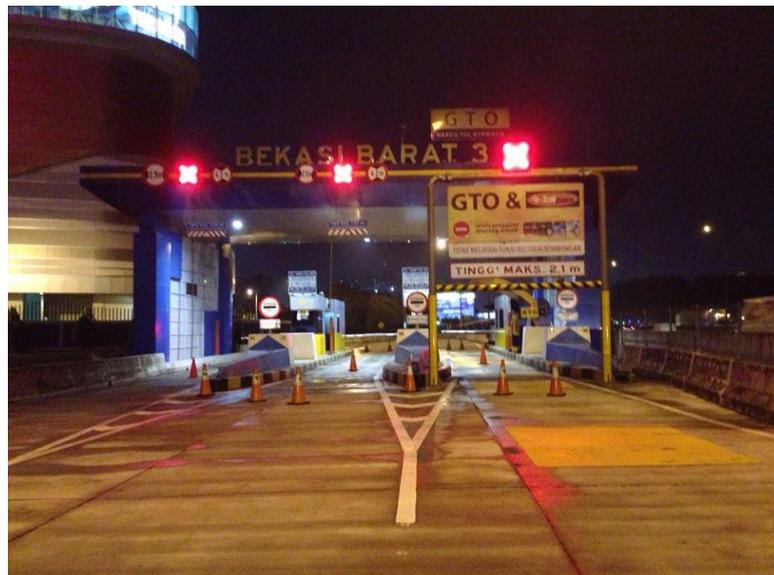


Gambar 4.11. Tol Bekasi Barat 1

Sedangkan pada tol Bekasi Barat 3 memiliki lebar 14 m x 1 dengan 3 jalur. Adapun gambar dokumentasi lapangan pada gambar 4.12.

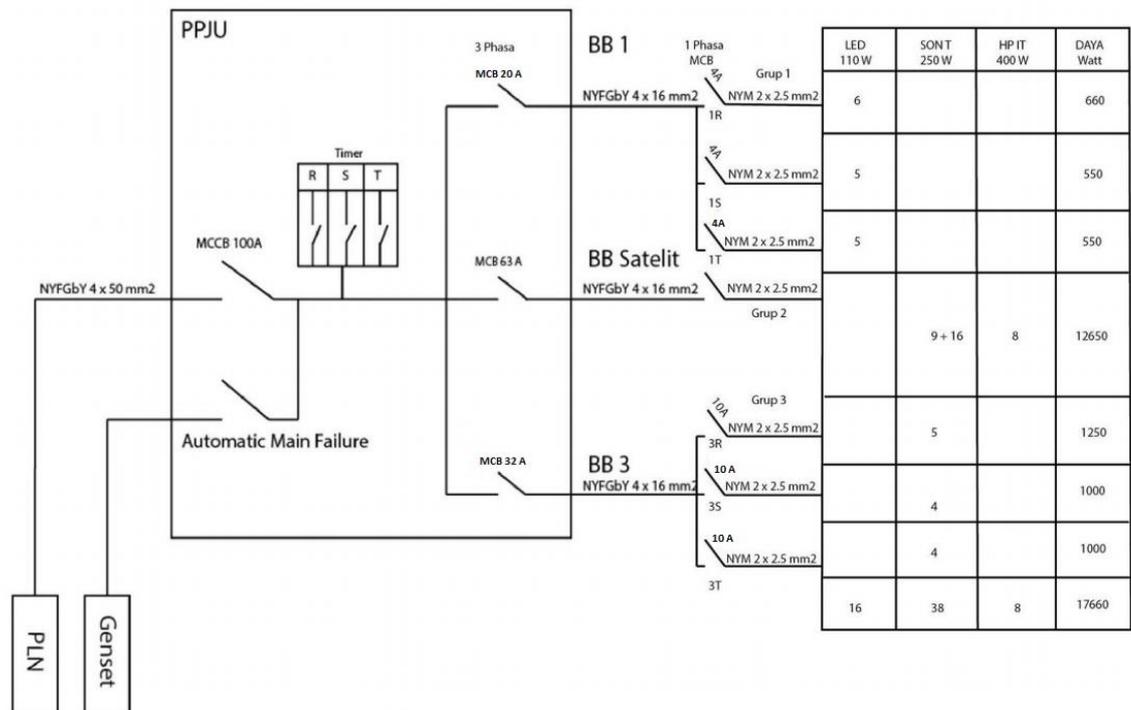


Gambar 4.12. Tol Bekasi Barat 3



Gambar 4.13. Tol Bekasi Barat 3 Malam Hari

Panel listrik PJU tol Bekasi Barat memiliki gardu distribusi dengan melayani lampu PJU. Menggunakan kabel NYFGbY. Melayani lampu LED, Sodium dan HPIT seperti terlihat pada gambar 4.14.



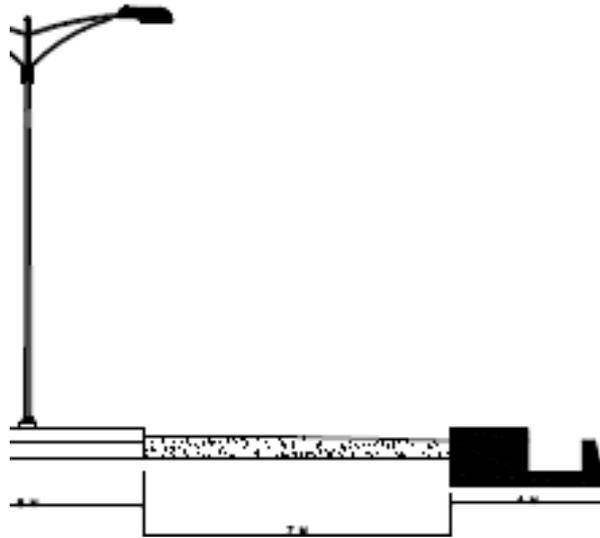
Gambar 4.14. Panel Listrik PDU Bekasi Barat 1 dan 3

Pada *wiring diagram* diatas terlihat bahwa listrik PDU dengan tegangan RST melayani 3 grup distribusi yaitu Bekasi Barat 1, Bekasi Satelit dan Bekasi Barat 3.

## 4.2. Pembahasan

### 4.2.1. Analisis Perhitungan Dasar Pencahayaan dan Standart PDU

Jalan Tol Bekasi Barat 1 dan 3 termasuk kelas jalan arteri primer. Tol Bekasi Barat 1 dilalui oleh kendaraan dari arah Jakarta maupun dari arah Cikampek yang akan masuk ke Bekasi sedangkan Tol Bekasi Barat 3 dilalui kendaraan dari arah Jakarta yang akan masuk ke Kalimalang Bekasi melalui Gran Metropolitan Mall. Tol Bekasi Barat memiliki lebar 14m x 2 dengan median dibatasi oleh *Barrier Road* sedangkan Tol Bekasi Barat 3 memiliki lebar 14m dibatas oleh *Barrier Road* di kedua sisi jalan.



Gambar 4.15. Skema sisi jalan Tol Bekasi Barat

Lebar jalan Tol Bekasi Barat termasuk kelas arteri primer sehingga sesuai dengan SNI 7391 tahun 2008 syarat minimal kuat pencahayaan (Iluminasi/I) 20 lux.

#### 4.2.1.1. Analisis Biaya Listrik Per Bulan

Pemakaian energi listrik untuk lampu jalan diatur melalui *time switch*. Pukul 18.00 lampu sudah menyala dan lampu mati pada pukul 06.00 pagi, sehingga lampu beroperasi selama 12 jam. Energi yang terpakai pada PJU adalah:

Untuk biaya listrik lampu LED dengan perhitungan.

$$M_1 = P \times t \times S \times 30 \text{ hari} / 1000 \times U$$

$$M_1 = 110\text{w} \times 12 \text{ jam} \times 13 \text{ lampu} \times 30 / 1000 \times \text{Rp.}1.352,-$$

$$M_1 = 514,8 \text{ kWh} \times 1.352$$

$$M_1 = \text{Rp. } 696.009,6,-$$

Untuk biaya listrik lampu Sodium dengan perhitungan

$$M_2 = P \times t \times S \times 30 \text{ hari} / 1000 \times U$$

$$M_2 = 250\text{w} \times 12 \text{ jam} \times 13 \text{ lampu} \times 30 / 1000 \times \text{Rp.1.352,-}$$

$$M_2 = 1170 \text{ kWh} \times 1.352$$

$$M_2 = \text{Rp. 1.581.840,-}$$

Sedangkan biaya listrik per bulan menurut biaya listrik rekapitulasi Jasamarga adalah Rp. 2.331.470,00. (Lampiran 13) Terlihat bahwa biaya listrik lampu PJU LED lebih murah dibandingkan dengan lampu Sodium meskipun dihitung dengan jumlah sampel yang sama.

Perbedaan biaya listrik antara perhitungan dengan data dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya waktu nyala lampu yang tidak akurat ataupun tidak stabilnya daya pada saat itu. Nilai U berdasarkan biaya listrik PJU pada website PLN. (Lampiran 4)

#### **4.2.1.2. Analisis Lux**

##### **4.2.1.2.1. Lux Meter**

Lux meter yang digunakan pada penelitian ini difasilitasi oleh jurusan teknik elektro dengan dosen instalasi terkait. Lux yang digunakan bermerk Hoki dengan skala analog yaitu skala 300, 1000 dan 3000.



Gambar 4.16. Lux Meter

Skala yang digunakan pada penelitian ini adalah skala terendah yaitu 300 agar mempermudah perhitungan. Hasil nominal yang ditunjukkan oleh jarum di kali dengan  $\frac{300}{3000}$  atau angka 10. Jika nominal yang muncul adalah 500 maka nilai lux adalah 500 dibagi 10 yaitu 50 lux.



Gambar 4.17. Skala Lux Meter

Sensor cahaya yang menangkap foton yang dipancarkan oleh lampu akan dirubah menjadi *electron*. Idealnya satu foton akan membangkitkan 1 elektron. Cahaya lampu akan menyinari sel foto yang akan ditangkap oleh sensor sebagai energi dan akan diteruskan oleh sel foto menjadi energi listrik. Semakin banyak cahaya yang ditangkap maka semakin besar arus yang dihasilkan.



Gambar 4.18. Sensor Cahaya Lux Meter

#### 4.2.1.2.2. *Software DIALux*

Dalam merencanakan sebuah lampu penerangan membutuhkan alat bantu kerja berupa *software* maupun *hardware*. *Software* yang dimaksud adalah perangkat lunak berupa sebuah program yang ada pada komputer, laptop atau perangkat digital. Sedangkan *hardware* merupakan perangkat keras yang berwujud sebuah benda ataupun alat.

Dalam penelitian ini, menggunakan *software* DIALux.exe dan *hardware* alat ukur pencahayaan yaitu Lux Meter. DIALux merupakan aplikasi 3D pabrikan perusahaan lampu yaitu Phillips. Aplikasi ini menyajikan penampakan intensitas cahaya dan penghitungan pencahayaan pada sebuah lampu baik lampu jalan, lapangan olahraga, ruangan indoor, dll.

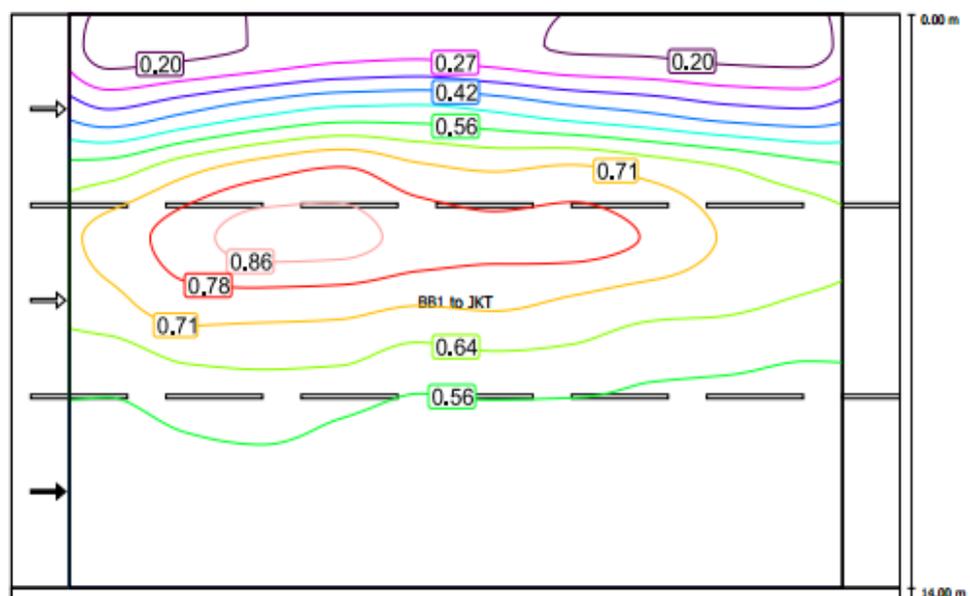
Program penampakan intensitas cahaya dan penghitungan pencahayaan menghitung efek pencahayaan berdasarkan oleh luminary spesifik dititik yang spesifik. Adapun data output yang didapatkan antara lain:

1. Penerangan (lux atau *foot candle*) dalam pekerjaan horizontal pada pemilihan titik penerangan

2. Luminasi dari permukaan pencahayaan (candela per area permukaan unit) atau *exitance* (lumen per area permukaan pencahayaan). Hasil yang terlihat berupa gradasi warna pencahayaan.
3. Metrik kenyamanan visual dan penampilan

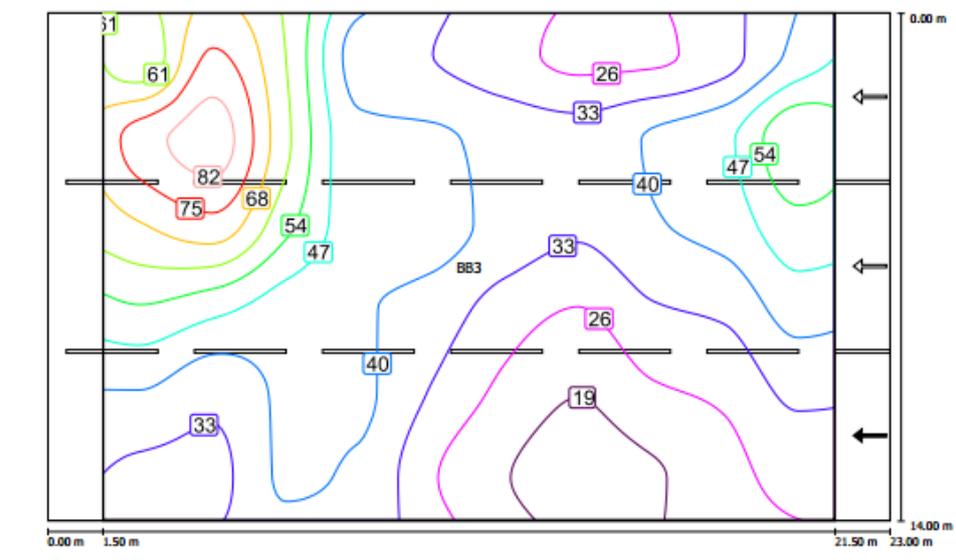
Hasil program ini biasanya berupa diagram dari nilai yang telah dihitung. *Plot isolux (isofoot candle)* atau rencana yang diberi warna menggambarkan daerah dari suatu tingkat pencahayaan. Semua hasil program dicetak dan ditampilkan hasilnya langsung pada layar komputer. Angka, tinggi tiang, lebar jalan, gambar pencahayaan lux

Menentukan nilai intensitas cahaya menggunakan alat ukur LUX meter dengan mengukur titik jatuhnya cahaya pada jalan TOL. Dan juga menggunakan software DIALux produksi Phillips. Dalam gambar dibawah terlihat bahwa intensitas cahaya lampu LED pada setiap titik memiliki nilai yang berbeda.



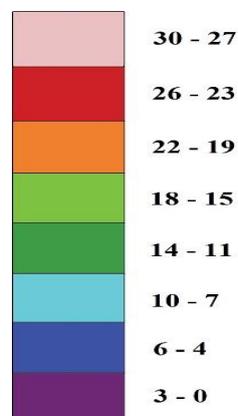
Gambar 4.19. Iso Contour Lux pada lampu LED

Gambar diatas menunjukkan nilai intensitas cahaya LED pada pusat lampu adalah 30 – 27 lux. Nilai intensitas menurun pada daerah sekitar lampu karena penyebaran cahaya. Terdapat perbedaan nilai antara skala intensitas dengan *display* nilai lux yang ditampilkan. Dikarenakan nilai rasio yang berbeda.



Gambar 4.20. Iso Contour Lux pada lampu Sodium

*Display* yang ditampilkan oleh software DIALux untuk lampu Sodium terlihat bahwa penyebaran cahaya lampu Sodium tidak merata dibandingkan dengan lampu LED.



Gambar 4.21. Skala intensitas cahaya lux

Terdapat 8 skala warna intensitas cahaya pada software DIALux yaitu merah muda, merah tua, orange, hijau muda, hijau tua, biru muda, biru tua dan ungu.

Rumus Fluks Cahaya dan Intensitas Cahaya, yakni:

$$\Phi = W \times L/w$$

Keterangan:

$\Phi$  = Fluks Cahaya (lm)

W = Watt Lampu

L/w = Lumen per watt lampu

$$E = \Phi / A$$

Keterangan:

E = Intensitas Cahaya (lux)

A = Luas permukaan (m<sup>2</sup>)

Perhitungan manual intensitas cahaya pada lampu LED adalah sebagai berikut:

Watt pada lampu LED adalah 110 watt, dan lumen/watt lampu adalah 100lm/w (lampiran 8). Nilai A pada setiap lampu memiliki nilai yang berbeda. Untuk A<sub>1</sub> adalah 36m x 10m, untuk A<sub>2</sub> adalah 36,8m x 10m dan A<sub>3</sub> adalah 36,2 m x 10,3m yang terlihat pada gambar 4.19.

Pada Lampu 1

$$\Phi = W \times L/w$$

$$\Phi = 110 \text{ watt} \times 100$$

$$\Phi = 11000 \text{ lm}$$

$$E = \Phi / A$$

$$E = 11000 \text{ lm} / 360 \text{ m}^2$$

$$E = 30,5 \text{ lux}$$

Pada Lampu 2

$$\Phi = W \times L/w$$

$$\Phi = 110 \text{ watt} \times 100$$

$$\Phi = 11000 \text{ lm}$$

$$E = \Phi / A$$

$$E = 11000 \text{ lm} / 360 \text{ m}^2$$

$$E = 32,069 \text{ lux}$$

Pada Lampu 3

$$\Phi = W \times L/w$$

$$\Phi = 110 \text{ watt} \times 100$$

$$\Phi = 11000 \text{ lm}$$

$$E = \Phi / A$$

$$E = 11000 \text{ lm} / 360 \text{ m}^2$$

$$E = 31,74 \text{ lux}$$

Tabel 4.3. Nilai Intensitas Cahaya LED

Sample Lampu LED	Nilai Intensitas Cahaya(lux)		
	Perhitungan (rumus intensitas)	Software DIALux (Tabel 4.5)	Pengukuran (lux meter)
Lampu 1	30,5	30,250	30
Lampu 2	32,069	30,250	32
Lampu 3	31,74	30,250	31
Rata-rata	31,43	30,25	31

Berdasarkan tabel 4.3. terlihat bahwa nilai intensitas cahaya antara perhitungan, software dan pengukuran terdapat perbedaan. Nilai intensitas cahaya dengan menggunakan software hanya memiliki 1 nilai karena nilai yang dimunculkan software hanya mengambil 1 sampel lampu saja.

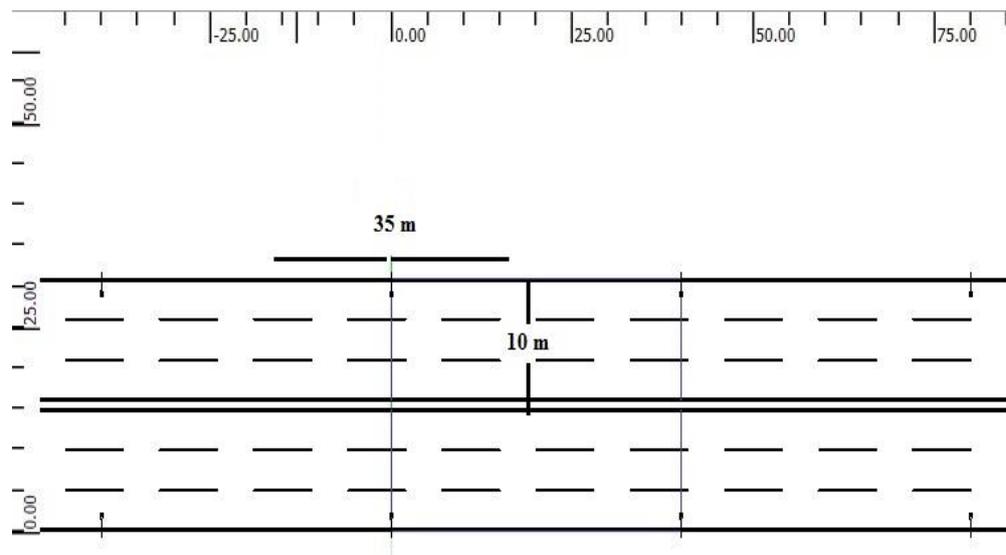
Persentase kesalahan (*error*) yang terjadi dalam pengukuran terhadap perhitungan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \% \text{ kesalahan} &= \left| \frac{\text{Angka Perhitungan} - \text{Angka Pengukuran}}{\text{Angka Perhitungan}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{31,43 - 31}{31,43} \right| \times 100\% \\ &= 1,368 \% \end{aligned}$$

Sedangkan persentase kesalahan (*error*) yang terjadi dalam pengukuran terhadap data *software* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \% \text{ kesalahan} &= \left| \frac{\text{Angka software} - \text{Angka Pengukuran}}{\text{Angka software}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{30,25 - 31}{30,25} \right| \times 100\% \\ &= 2,47 \% \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan nilai persen kesalahan antara pengukuran terhadap perhitungan sebesar 1,368% dan nilai persen kesalahan antara pengukuran terhadap data *software* sebesar 2,47%.



Gambar 4.22. Radius Cahaya LED

Gambar 4.22. menunjukkan radius (meter) penyebaran cahaya lampu LED pada jalan Tol Bekasi Barat 1. Dengan panjang penyebaran rata-rata adalah 38m dan lebar penyebaran cahaya adalah 10m.

Tabel 4.4. Tabel Intensitas Lampu LED dengan Software DIALux

## Roadway 2 (ME4a)

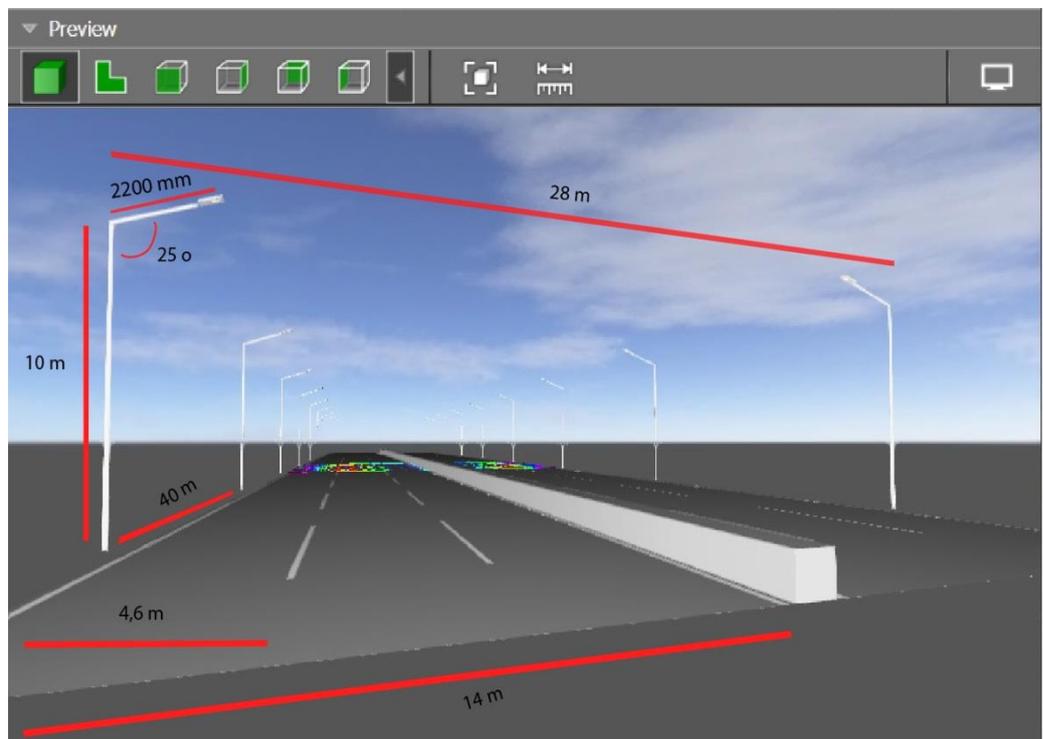
## Horizontal illuminance [lx]

30.250	1.28	1.04	1.15	2.41	2.65	1.97	1.62	1.62	1.97	2.65	2.42	1.16	1.04	1.28
28.750	4.15	4.44	4.14	4.63	4.07	3.05	2.29	2.29	3.05	4.07	4.63	4.14	4.45	4.15
27.250	8.64	8.33	7.59	6.33	5.55	4.18	3.11	3.11	4.18	5.55	6.33	7.59	8.33	8.64
25.750	9.04	8.74	7.95	7.17	6.61	5.36	4.00	4.00	5.35	6.60	7.17	7.95	8.75	9.04
24.250	8.52	8.11	7.56	6.96	6.59	5.62	4.41	4.41	5.61	6.58	6.95	7.56	8.11	8.53
22.750	7.70	7.35	7.07	6.67	6.29	5.49	4.58	4.58	5.49	6.28	6.67	7.07	7.35	7.70
21.250	6.97	6.76	6.64	6.32	6.02	5.44	4.74	4.74	5.44	6.02	6.32	6.64	6.76	6.98
19.750	6.44	6.53	6.39	6.11	5.69	5.23	4.89	4.89	5.23	5.69	6.11	6.40	6.53	6.45
18.250	6.44	6.37	6.30	5.97	5.52	5.07	4.81	4.81	5.07	5.52	5.97	6.31	6.37	6.44
16.750	6.39	6.38	6.19	5.92	5.38	5.00	4.75	4.75	5.00	5.38	5.92	6.20	6.39	6.39
m	1.429	4.286	7.143	10.000	12.857	15.714	18.571	21.429	24.286	27.143	30.000	32.857	35.714	38.571

Grid: 14 x 10 Points

EAvg [lx]	EMin [lx]	EMax [lx]	g1	g2
5.56	1.04	9.04	0.186	0.115

Tabel 4.4. menunjukkan nilai intensitas cahaya dengan lux adalah bernilai 30,250 lx pada kolom dan baris pertama pada tabel. Nilai yang ditampilkan ada pada konten *Table* Software DIALux.



Gambar 4.23. Layout 3D software DIALux lampu LED

Pada gambar 4.23 menampilkan layout tol Bekasi Barat 1 PJU LED dengan lebar jalan 14m, jarak antar tiang 40m, panjang stang ornament 2,2m, tinggi tiang 10m, sudut stang 25° dan jarak horizontal lampu adalah 28m.

Perhitungan manual intensitas cahaya pada lampu Sodium adalah sebagai berikut:

Watt pada lampu Sodium adalah 250 watt, dan lumen/watt lampu adalah 47 lm/w (lampiran 12). Nilai A pada setiap lampu memiliki nilai yang berbeda. Untuk A<sub>1</sub> adalah 35m x 11m, untuk A<sub>2</sub> adalah 35,3m x 11,8m dan A<sub>3</sub> adalah 35,5 m x 11,4m yang terlihat pada gambar 4.24.

Pada Lampu 1

$$\Phi = W \times L/w$$

$$E = \Phi / A$$

$$\Phi = 250 \text{ watt} \times 47$$

$$E = 11750 \text{ lm} / (35 \times 11) \text{ m}^2$$

$$\Phi = 11750 \text{ lm}$$

$$E = 30,519 \text{ lux}$$

Pada Lampu 2

$$\Phi = W \times L/w$$

$$E = \Phi / A$$

$$\Phi = 250 \text{ watt} \times 47$$

$$E = 11750 \text{ lm} / (35,3 \times 11,8) \text{ m}^2$$

$$\Phi = 11750 \text{ lm}$$

$$E = 28,208 \text{ lux}$$

Pada Lampu 3

$$\Phi = W \times L/w$$

$$E = \Phi / A$$

$$\Phi = 250 \text{ watt} \times 47$$

$$E = 11750 \text{ lm} / (35,5 \times 11,4) \text{ m}^2$$

$$\Phi = 11750 \text{ lm}$$

$$E = 29,0338 \text{ lux}$$

Tabel 4.5. Nilai Intensitas Cahaya Sodium

Sample Lampu Sodium	Nilai Intensitas Cahaya (lux)		
	Perhitungan (rumus intensitas)	Software DIALux (Tabel 4.5)	Pengukuran (lux meter)
Lampu 1	30,519	28,50	30
Lampu 2	28,208	28,50	28
Lampu 3	29,0338	28,50	29
Rata-rata	29,2536	28,5	29

Berdasarkan tabel 4.5. juga terlihat bahwa nilai intensitas cahaya antara perhitungan, software dan pengukuran terdapat perbedaan. Nilai intensitas cahaya dengan menggunakan software hanya memiliki 1 nilai dan nilai antara perhitungan dengan pengukuran terdapat perbedaan yang tidak terlalu jauh.

Persentase kesalahan (*error*) yang terjadi dalam pengukuran terhadap perhitungan adalah sebagai berikut:

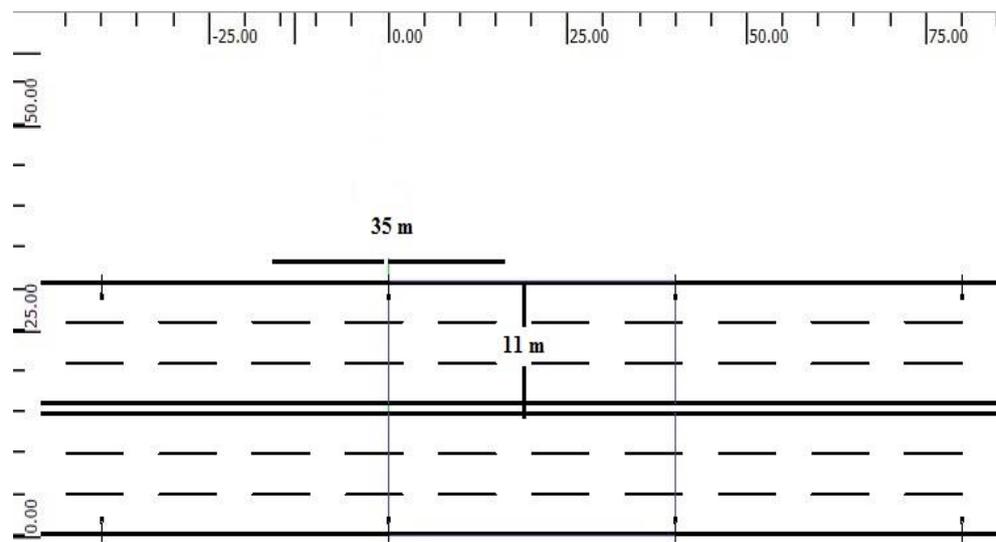
$$\begin{aligned}
 \% \text{ kesalahan} &= \left| \frac{\text{Angka Perhitungan} - \text{Angka Pengukuran}}{\text{Angka Perhitungan}} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{29,2536 - 29}{29,2536} \right| \times 100\% \\
 &= 0,866 \%
 \end{aligned}$$

Sedangkan persentase kesalahan (*error*) yang terjadi dalam pengukuran terhadap data *software* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \% \text{ kesalahan} &= \left| \frac{\text{Angka software} - \text{Angka Pengukuran}}{\text{Angka software}} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{28,5 - 29}{28,5} \right| \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$= 1,75 \%$$

Sehingga didapatkan nilai persen kesalahan antara pengukuran terhadap perhitungan sebesar 0,866% dan nilai persen kesalahan antara pengukuran terhadap data *software* sebesar 1,75%.



Gambar 4.24. Radius Cahaya Sodium

Gambar 4.24. menunjukkan radius (meter) penyebaran cahaya lampu Sodium pada jalan Tol Bekasi Barat 3. Dengan panjang penyebaran rata-rata adalah 35m dan lebar penyebaran cahaya adalah 11m.

Tabel 4.6. Tabel Intensitas Lampu Sodium dengan Software DIALux

## Roadway 1 (ME4a)

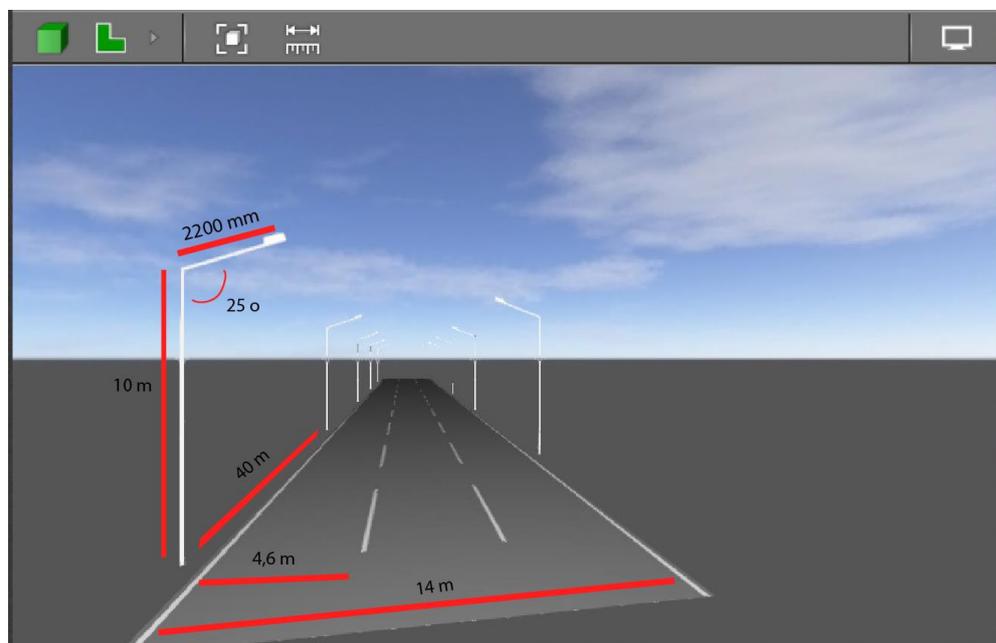
Observer 1

Luminance with dry roadway [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]

12.833	2.00	2.10	2.37	2.59	2.67	2.52	2.13	1.79	1.84	2.04
10.500	3.42	3.37	3.08	3.03	3.14	3.12	2.82	2.64	2.91	3.25
8.167	3.64	3.20	2.99	2.91	3.17	3.34	3.11	3.04	3.34	3.54
5.833	2.99	2.49	2.33	2.42	2.63	2.75	2.67	2.74	2.84	3.11
3.500	2.66	2.23	2.05	2.20	2.44	2.67	2.65	2.67	2.83	2.96
1.167	2.49	2.20	2.03	2.08	2.14	2.32	2.43	2.49	2.73	2.80
m	1.500	4.500	7.500	10.500	13.500	16.500	19.500	22.500	25.500	28.500

Grid: 10 x 6 Points

Tabel 4.6 menunjukkan nilai intensitas cahaya lampu Sodium adalah bernilai 28,50 lx pada kolom dan baris terakhir pada tabel. Nilai intensitas cahaya yang ditampilkan adalah dari 1 observer dalam keadaan *dry roadway* atau jalan sedang kering (tidak hujan).



Gambar 4.25. Layout 3D Software DIALux lampu Sodium

Pada gambar 4.25 menampilkan layout tol Bekasi Barat 1 PJU LED dengan total lebar jalan 14m, lebar *oneway* 4,6m, jarak antar tiang 40m, panjang stang ornament 2,2m, tinggi tiang 10m, sudut stang 25° dan jarak horizontal lampu adalah 14m.

#### **4.2.1.3. Analisis *Maintenance* (Perawatan dan Pemeliharaan)**

##### **4.2.1.3.1. Lampu LED**

Dari segi pemeliharaan dan perawatan, lampu LED sebagai lampu yang lebih *sensitive* terhadap gangguan seperti petir dan cuaca panas. Ketika lampu LED mengalami kerusakan, lampu tersebut harus mengganti lampu secara keseluruhan, mengingat komponen dan *spare part* lampu sangat langka sehingga komponen yang dijual dipasaran cukup mahal. Lampu LED pada tahun kedua mengalami penurunan kinerja lampu sehingga tidak sedikit lampu LED yang mengalami penggantian.

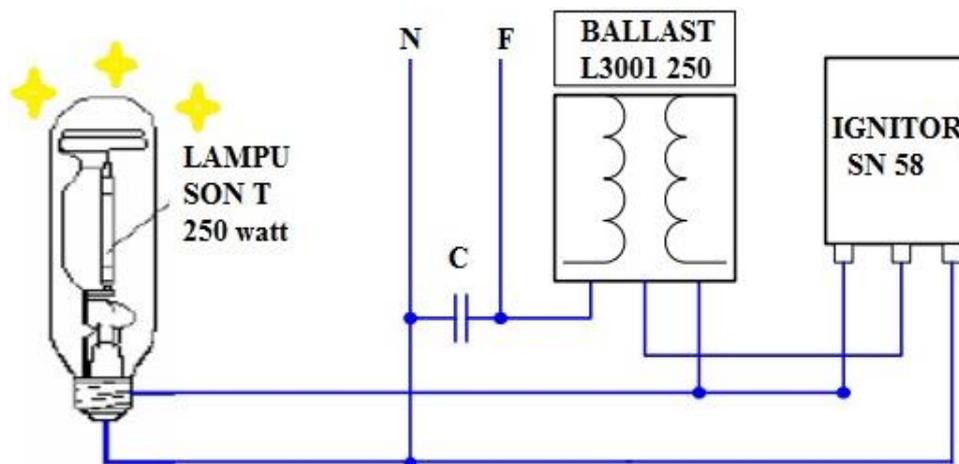
##### **4.2.1.3.2. Lampu Sodium**

Bila dibandingkan dengan lampu SON T, lampu ini lebih mudah untuk dilakukan perawatan dan pemeliharaan. Lampu SON T jika mengalami kerusakan tidak perlu mengganti lampu secara keseluruhan, cukup mengganti dengan komponen tersendiri seperti ballas, kapasitor ataupun starternya.

Dalam penggantian komponen lampu Sodium atau SON T, dilakukan oleh teknisi *maintenance*. Teknisi yang didatangkan merupakan teknisi dari kontraktor yang sebelumnya telah memasang lampu PJU tersebut. Saat pemeliharaan dan

perawatan, teknisi akan memberi informasi mengenai kerusakan yang terjadi pada lampu PJU.

Adapun harga komponen yang diinformasikan oleh teknisi bergantung kepada besar atau kecil kerusakan yang terjadi. Untuk penggantian komponen yakni harga bohlam lampu SON T 250 watt adalah Rp. 105.000, harga Ballast L3001 250 adalah sekitar Rp. 225.000, harga ignitor SN 58 adalah Rp.50.000, dan harga kapasitor Rp. 40.000. Semua komponen yang disiapkan bermerk Phillips.



Gambar 4.26. Wiring Komponen Lampu Sodium

#### 4.2.1.4. Analisis *Payment*

##### 4.2.1.4.1. Harga Produk Lampu LED

Lampu LED merk Phillips sudah tidak diragukan memiliki nilai beli yang tinggi namun tidak diragukan kualitasnya. Harga lampu Phillips LED 110 watt adalah Rp. 13.000.000,-. Harga sudah termasuk satu set lampu LED beserta inverternya.

#### 4.2.1.4.2. Harga Produk Lampu Sodium

Lampu SON T juga menggunakan merk Phillips, namun sudah banyak lampu Phillips yang telah meninggalkan lampu jenis SON T dan beralih ke LED. Harga lampu Phillips Sodium SON T 250 watt adalah Rp. 9.000.000,-. Harga sudah termasuk satu set lampu sodium seperti ballast, ignitor dan kapasitor.

#### 4.2.1.5. Analisis Daya Terukur (Watt)

Pada katalog lampu LED, daya listrik lampu adalah 110 watt. Dengan nilai  $\cos \phi = 0.99$ . Adapun daya listrik lampu LED dengan pengukuran sebagai berikut:

Tabel 4.7. Data Hasil Pengukuran

Jenis Lampu	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Cos $\phi$ (1 – 0.8)	Daya (Watt)
Lampu LED	211	0.504	0.99	110
Lampu Sodium	215	1.369	0.90	250

Pada tabel 4.7. tersebut, nilai  $\cos \phi$  diukur menggunakan  $\cos \phi$  meter. Nilai  $\cos \phi$  bergantung pada beban listrik,  $\cos \phi$  tidak memiliki standar. Pada beban tahanan murni (seperti lampu TL, lampu pijar) nilai  $\cos \phi$  mendekati satu. Sedangkan pada beban tahanan tidak murni (seperti pompa air, kipas angin) nilai  $\cos \phi$  antara 0.5–0.85.



Gambar 4.27. Pengukuran Arus dan Tegangan Lampu LED

Pada katalog lampu Sodium, daya listrik lampu adalah 250 watt. Nilai cosφ terlihat pada kapasitor lampu. Adapun daya listrik lampu Sodium dengan pengukuran sebagai berikut:



Gambar 4.28. Pengukuran Arus dan Tegangan Lampu Sodium

#### 4.2.1.6. Analisis BEP

Pada analisis ini, dikatakan bahwa lampu LED 110 watt dan lampu Sodium 250 watt dinyalakan selama 12 jam dari jam 18.00-06.00. Perhitungan listrik selama 30 hari dengan biaya listrik PJU golongan P3 adalah Rp.1.352,-/kWh dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Investasi lampu LED} &= \text{Harga lampu LED} \times 16 \text{ lampu} \\ &= 6\text{jt} \times 16 = 96\text{jt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Investasi lampu Sodium} &= \text{Harga lampu Sodium} \times 16 \text{ lampu} \\ &= 4\text{jt} \times 16 = 64\text{jt} \end{aligned}$$

$$\text{Energi lampu LED} = 110\text{w} \times 12\text{jam} \times 16 \text{ lampu} \times 30\text{hari}$$

$$\begin{aligned} & / 1000 \times 1.352 \\ & = \text{Rp. } 856.627 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Energi lampu Sodium} & = 250\text{w} \times 12\text{jam} \times 16 \text{ lampu} \times 30\text{hari} \\ & / 1000 \times 1.352 \\ & = \text{Rp. } 1.946.080 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BEP} & = \text{Selisih Investasi} / \text{Selisih Energi} \\ & = 32\text{jt} / 1.089.452 \\ & = 29 \text{ bulan (2,4 tahun)} \end{aligned}$$

Lifetime pada lampu LED

$$\begin{aligned} \text{Lifetime} & = 50.000 \text{ jam} : 354 \text{ hari} \\ & = 5,8 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Lifetime pada lampu Sodium

$$\begin{aligned} \text{Lifetime} & = 20.000 : 354 \text{ hari} \\ & = 2,3 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Sehingga biaya penyusutan per tahun lampu yaitu,

$$\begin{aligned} \text{Biaya Penyusutan LED} & = 96 \text{ juta} : 5,8 \text{ tahun} \\ & = 16,5 \text{ juta/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Penyusutan Sodium} & = 64 \text{ juta} : 2,3 \text{ tahun} \\ & = 27,8 \text{ juta/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Selisih Biaya Penyusutan} & = |16,5 \text{ juta} - 27,8 \text{ juta}| \\ & = 11,3\text{jt/tahun} \\ & = \text{Rp.}941.666/\text{bulan} \end{aligned}$$

Tabel 4.8 *Break End Point*

	<b>LED</b>	<b>Sodium</b>	<b>Selisih</b>
<b>Investasi</b>	<b>96 juta</b>	<b>64 juta</b>	<b>32 juta</b>
<b>Energi</b>	<b>Rp.856.627,-</b>	<b>Rp.1.946.080,-</b>	<b>1.089.452</b>
<b>Lifetime</b>	<b>50.000 jam</b>	<b>20.000 jam</b>	
<b>Biaya Penyusutan</b>	<b>16,5 juta</b>	<b>27,8 juta</b>	<b>11,3 juta</b>
<b>BEP(Break End Point)</b>			<b>29 bulan</b>

