

ISSN 1410 - 9735



JURNAL TEKNIK ELEKTRO

TESLA

VOL. 19 NO. 1 - MARET 2017

Jurnal TESLA	Vol. 19	No. 1	Hlm. 1 - 107	Jakarta Maret 2017	ISSN 1410 - 9735
--------------	---------	-------	-----------------	-----------------------	---------------------

JURNAL TESLA

REDAKSI TESLA

- Pemimpin Umum : Prof. Dr. Agutinus Purna Irawan (Untar)
Dekan Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara
- Ketua Dewan Penyunting : Ir. Endah Setyaningsih, MT. (Untar)
- Dewan Penyunting Ahli : Prof. Dr. Ir. Dali Santun Naga, MMSI. (Untar)
Prof. Dr. Ir. Indra Surjati, MT. (Usakti)
Ir. Hadian Satria Utama, MSEE. (Untar)
Dr. Ir. Eko Syamsuddin, M.Eng. (BPPT)
Didi Surian, Ph.D. (Untar)
Henry Candra, ST. MT. (Usakti)
- Penyunting Pelaksana : Joni Fat, ST. ME.
Drs. F.X. Sigit Wijono, MT.
Suraidi, ST. MT.
Meirista Wulandari, ST. M.Eng.
- Pelaksana Teknis : Siswadi Joko Santoso
- Penerbit : Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik
Universitas Tarumanagara
- Alamat Penerbit : Jln. Letjen. S. Parman No. 1
Jakarta – 11440
Telp : 021-5638359 , 5672548
Fax : 021-5663277
Email: teslauntar@gmail.com
Web : <http://teslauntar.blogspot.com>

Nama "TESLA" diambil dari nama tokoh seorang ilmuwan listrik yang diabadikan menjadi satuan medan magnetik yaitu NIKOLA TESLA, yang lahir di Kroasia. Jurnal TESLA merupakan Jurnal Ilmiah Teknik Elektro yang diterbitkan 2 kali dalam setahun, yaitu pada bulan Maret dan Oktober. Sejak Bulan Oktober 2009, Jurnal TESLA telah menjalin kerjasama dengan Indonesian Experts Electronics – Jakarta (IEE-J) yang mempunyai visi dan misi dalam meningkatkan Jurnal Teknik Elektro menjadi berkualitas.

JURNAL TESLA

DAFTAR ISI

Daftar Isi	i
Editorial	ii
1 Optimasi Perletakan Luminer Untuk Pencahayaan Ruang Industri Dengan Menggunakan Algoritma Genetika	1-11
Rizki A. Mangkuto dan Mohd. Akbar Anthony Siregar	
2 Analisis Sistem Estimasi Produksi Menggunakan Metode <i>Fuzzy</i> Berbasis <i>Web</i>	12-22
Boby Wisely Ziliwu dan Suhartati Agoes	
3 Analisis Pencahayaan Malam Hari Terowongan Pasar Rebo Jakarta Timur	23-31
Endah Setyaningsih dan Jeanny Pragantha	
4 Model Sistem Tagihan Listrik dan Pengendali Arus dengan Menggunakan Sensor Arus	32-44
Yosua, Djoko H.N. dan Sani M. Isa	
5 Penerapan Algoritma <i>Divide And Conquer</i> Pada Perancangan Sistem Identitas Penduduk Berbasis <i>Fingerprint</i>	45-57
David Sinandar, Pono Budi Mardjoko dan Harlianto Tanudjaja	
6 Penerapan Teknologi <i>General Packet Radio Service</i> Pada Sistem <i>Monitoring</i> Sepeda Motor	58-67
Zimmy Alexander, Hang Suharto dan Eko Syamsuddin Hasrito	
7 Sistem Peringatan Sisa Pulsa Pada KWH Meter Digital Prabayar	68-80
Kevin dan Fahraini Bacharuddin	
8 Sistem Pengukur Kecepatan Arus Air Menggunakan <i>Current Meter</i> Tipe "1210 AA"	81-95
Handy Chang dan Fany Indriaty	
9 Perancangan Simulasi Otomatisasi Perubahan Kecepatan Kipas yang Dipengaruhi Gas CO dan Suhu Area Parkir <i>Basement</i>	96-107
Budiman Banumaxs Naga dan Yohanes Calvinus	

Analisis Pencahayaan Malam Hari Terowongan Pasar Rebo Jakarta Timur

Endah Setyaningsih¹ dan Jeanny Pragantha²

Abstrak: *Tunnel lighting should be designed well, because one of the benefits is to ensure the safety and security of motorists who pass through the tunnel. One way is to provide a level sufficient to lighting in the tunnel during the day and night time. National Bureau of Standards (Badan Standarisasi Nasional)) in 2008 issued the Indonesian National Standard (SNI) set standards for night lighting, but for daytime lighting use of international standards. This study was conducted to determine the level of illumination (illuminance) and luminance tunnel in Jakarta, will then be evaluated and given recommendations on the tunnel lighting system required. How this is done is by measuring luminance and illuminance (that have been implemented in the first year) to the road surface inside the tunnel, the day and night in the tunnel Pasar Rebo. The result showed that the luminance and illuminance of daylight in the zone threshold at Pasar Rebo tunnel. Based on the research results show that the lighting in the tunnel has not given a good performance tunnel lighting for day and night lighting.*

Keywords: *Journal Tesla, Writing guidelines*

Abstrak: Pencahayaan terowongan harus dirancang dengan baik, karena salah satu manfaatnya adalah untuk menjamin keselamatan dan keamanan pengguna kendaraan bermotor yang melewati terowongan tersebut. Salah satu caranya adalah dengan memberikan tingkat pencahayaan yang cukup di dalam terowongan baik pada siang hari maupun malam hari. Pencahayaan yang baik bila memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat pencahayaan (iluminansi) dan luminansi terowongan Pasar Rebo yang ada di Jakarta Timur, selanjutnya akan dievaluasi dan diberikan rekomendasi mengenai sistem pencahayaan terowongan yang diperlukan. Metode pelaksanaannya adalah dengan melakukan pengukuran luminansi dan iluminansi pada permukaan jalan di dalam terowongan. Hasilnya diperoleh bahwa luminansi dan iluminansi malam hari pada terowongan Pasar Rebo jauh melebihi dari standar SNI, demikian juga dengan tingkat kerataan pencahayaan di permukaan jalan yang kurang baik. Sementara itu pencahayaan jalan sebelum maupun sesudah terowongan Pasar Rebo mempunyai iluminansi dan luminansi yang telah memenuhi standar SNI, yaitu antara 15 lux – 20 Lux. Akibatnya bila pengendara akan memasuki terowongan Pasar Rebo pada malam hari akan mengalami kebutaan mata beberapa saat. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa pencahayaan di terowongan belum memberikan performansi pencahayaan terowongan yang baik untuk pencahayaan malam hari.

Kata kunci: Pencahayaan terowongan malam hari, terowongan Pasar Rebo, iluminansi, luminansi, standar SNI.

PENDAHULUAN

Terowongan merupakan salah satu infrastruktur yang dibangun agar lalu lintas menjadi lebih lancar dan aman untuk dilalui. Lalu lintas kendaraan yang padat menyebabkan kemacetan dan memperlama waktu yang dibutuhkan menuju tempat tujuan. Terowongan dibuat untuk mengalihkan lalu lintas yang melalui suatu persimpangan agar dapat memotong jalur lalu lintas lain dengan rekayasa elevasi. Perbedaan tingkat elevasi antara jalan umum dengan terowongan memungkinkan kedua jalur yang saling berpotongan pada bagian horizontal, tetapi berada pada level vertikal yang berbeda untuk dilalui sehingga lalu lintas mempunyai jalur masing-masing dan tidak saling mengganggu [CIE 88, 2004]. Terowongan juga harus mempunyai fasilitas jalan yang sama dengan jalan disekitarnya, demikian juga untuk pencahayaannya. Sementara itu pada malam hari, diperlukan sistem pencahayaan buatan yang dapat dipergunakan sebagai sumber cahaya utama karena pencahayaan alami tidak tersedia.

Perancangan pencahayaan yang baik untuk terowongan malam hari akan mengurangi/menghilangkan fenomena *black hole*, sehingga mata pengendara dapat beradaptasi dengan baik. Pemerintah Daerah/Kotamadya dan PT. Jasa Marga Tbk bertanggung jawab dalam pengadaan penerangan terowongan sebagai bagian dari Penerangan Jalan Umum (PJU). PJU merupakan bentuk pelayanan kepada masyarakat untuk peningkatan keamanan dan keselamatan pengguna jalan, terowongan, dan lingkungan. Berdasarkan pengamatan pendahuluan di beberapa terowongan di DKI Jakarta, banyak lampu dalam terowongan tersebut ada yang mati sehingga tidak sesuai dengan tingkat pencahayaan standar. Selain itu juga ditemui terowongan yang mempunyai tingkat pencahayaan berlebihan pada malam hari dan pada terowongan tersebut kurang diperhatikan pengaruh luminansi yang disebabkan oleh pemantulan berulang dari permukaan jalan, dinding dan atap terowongan. Hal ini akan membuat pengendara kendaraan yang memasuki terowongan menjadi silau. Kekurangan atau kelebihan tingkat pencahayaan dan luminansi dapat berbahaya karena secara tidak langsung akan mengganggu konsentrasi pengemudi kendaraan. Akibat terburuk tentu saja dapat terjadi kecelakaan lalu lintas. Sementara itu jumlah kendaraan yang melewati terowongan mempengaruhi besarnya tingkat pencahayaan di dalam terowongan. Makin banyak jumlah kendaraan bermotor yang melewati suatu terowongan, maka makin tinggi tingkat pencahayaan (iluminansi) dan luminansi terowongan tersebut. Selama ini Dinas PJU maupun PT Jasa Marga melakukan perawatan lampu jalan raya dan terowongan secara manual yaitu dengan mensurvei jalan raya dan terowongan secara berkala. Jika ditemui ada lampu yang mati maka lampu tersebut diperbaiki atau diganti. Lampu yang mati berakibat pada kurangnya tingkat pencahayaan dalam terowongan. Masalah disini adalah, lampu dapat mati kapan saja, dan pengantiannya tidak selalu sesuai dengan spesifikasi lampu yang mati. Berdasarkan pengamatan pendahuluan, juga ditemukan bahwa lampu di dalam terowongan ada yang menyala selama 24 jam terus menerus, pada siang maupun malam hari. Pencahayaan terowongan pada malam hari tidak sama dengan siang hari, namun

¹ Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara Jakarta

² Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi Universitas Tarumanagara Jakarta

di beberapa terowongan di Jakarta pada malam dan siang hari mempunyai pencahayaan yang hamper sama karena jumlah lampu yang menyala selalu sama.

Pencahayaan siang hari harus jauh lebih besar dari pada malam hari. Jadi pada malam hari tingkat pencahayaan harus diturunkan sehingga tidak jauh berbeda dengan pencahayaan di jalan sebelum maupun sesudah terowongan. Untuk itu pada malam hari, sebagian lampu terowongan harus dapat mati secara otomatis sehingga tingkat pencahayaan lebih kecil dibandingkan jika pada siang hari.

Untuk membantu meningkatkan kualitas sistem PJU di DKI Jakarta, perawatan dan pemantauan kualitas tingkat pencahayaan dapat dilakukan secara otomatis. Berdasarkan pemikiran tersebut, maka dirancang suatu sistem pemantauan terowongan yang otomatis. Sistem otomatis ini menggunakan laser dan fototransistor sebagai pendeteksi kendaraan, sehingga lampu terowongan dapat menyala secara otomatis ketika ada kendaraan yang akan masuk ke terowongan. Besarnya iluminansi untuk pencahayaan terowongan malam hari sesuai Standar Nasional Indonesia yaitu 20 lux – 25 lux dan luminansi 2 cd/m² [SNI, 2008]. Di DKI Jakarta terdapat banyak terowongan/underpass, dan yang terbanyak ada di wilayah Jakarta Timur, karena wilayah ini banyak jalan yang berpotongan dengan wilayah luar DKI, yaitu Bekasi dan Bogor. Terowongan ada yang berada di jalan arteri dan kolektor, namun banyak juga yang ada di sepanjang jalan tol. Terowongan yang ada di wilayah Jakarta Timur yaitu terowongan Cibubur dan beberapa terowongan di sepanjang jalan tol lingkaran luar Jakarta (JORR), yaitu terowongan Pasar Rebo, terowongan Ampera, terowongan Rancho dan terowongan Merdeka. Terowongan yang terpanjang adalah terowongan Pasar Rebo, sehingga hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi untuk terowongan yang lainnya.

LANDASAN TEORI

Terowongan adalah jalan yang sekelilingnya tertutup oleh struktur, umumnya elevasi jalan tersebut di bawah permukaan tanah [Departemen PU, 2009]. Kata terowongan dalam bahasa Indonesia mempunyai 2 padanan kata dalam bahasa Inggris yaitu underpass dan tunnel. Kata underpass berarti struktur yang panjang dan konfigurasi fisiknya tidak membatasi pengemudi untuk melihat objek di dalam struktur. Biasanya tidak diperlukan pencahayaan pada siang hari karena panjang underpass umumnya kurang dari 25 m [IESNA, 2005]. Kata tunnel diartikan sebagai penutup jalan, baik yang alami maupun yang buatan manusia, yang di dalamnya pencahayaan alami terhalang sedemikian rupa sehingga pengemudi tidak dapat melihat [IESNA, 2005]. Dalam penelitian ini, kata terowongan lebih dipadankan pada kata tunnel dalam bahasa Inggris.

Terowongan dapat dibagi menjadi “terowongan panjang” dan “terowongan pendek” berdasarkan kejelasan pandangnya. Terowongan pendek adalah terowongan yang jalan keluar terlihat jelas dari suatu titik tepat di muka jalan masuk terowongan, saat tidak ada kendaraan yang melintas. Biasanya panjang terowongan pendek dibatasi sampai 75 meter [CIE, 2004]. Pada siang hari terowongan pendek umumnya tidak membutuhkan sistem pencahayaan karena masuknya cahaya matahari di siang hari dari kedua sisi terowongan pendek, ditambah efek siluet dari terang cahaya ujung terowongan yang lain, secara umum menjamin jarak pandang yang memuaskan. Contoh pencahayaan terowongan dapat dilihat pada Gambar 1.



■ Gambar 1. Contoh pencahayaan dalam terowongan [Thorn, 2004]

Sebaliknya pada terowongan panjang, pengemudi tidak dapat melihat ujung keluar dari terowongan. Terowongan yang panjangnya kurang dari 75 m tetapi jalurnya tidak lurus sehingga pengemudi tidak dapat melihat ujung keluar terowongan, didefinisikan sebagai terowongan panjang. Untuk itu dari segi pencahayaan Commission International de L'Éclairage (CIE), pada tahun 2004, membagi panjang terowongan menjadi 3 kategori yaitu [CIE, 2004]:

1. Terowongan pendek; panjang terowongan kurang dari 75 m, biasanya tidak memerlukan pencahayaan buatan pada siang hari, tetapi jika sinar matahari tidak mencukupi, perlu ditambahkan cahaya buatan di tengah terowongan.
2. Terowongan panjang secara geometris: terowongan yang panjangnya lebih dari 75 m sehingga memerlukan pencahayaan buatan di dalam terowongan
3. Terowongan panjang secara optikal: terowongan yang panjangnya kurang dari 75 m tetapi pengemudi tidak dapat melihat ujung keluar dari terowongan sehingga memerlukan pencahayaan buatan.

Pencahayaan Terowongan

Tujuan dasar pencahayaan terowongan adalah untuk memberikan jarak pandang yang cukup dan nyaman bagi pengguna terowongan sehingga pengguna terowongan dapat melalui terowongan dengan aman, baik di siang hari maupun di malam hari [CIE, 2004]. Untuk mencapai tujuan tersebut, ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan [Nordick Vejteknisk Forbund, 1995]:

1. Pencahayaan harus memberikan tingkat iluminansi yang cukup dan merata pada pengemudi di sepanjang terowongan baik pada kondisi kering maupun basah.
2. Sudut datangnya cahaya lampu relative terhadap penglihatan pengemudi, harus memberikan tingkat penglihatan yang tinggi terhadap marka jalan dalam semua kondisi cuaca.
3. Bagian bawah terowongan juga harus mempunyai tingkat pencahayaan yang cukup
4. Pencahayaan tidak boleh menimbulkan silau (*glare*)
5. Pencahayaan tidak boleh berkedip-kedip (*flicker*)

Selain hal tersebut, perlu dipertimbangkan juga kemampuan mata manusia dalam mengadaptasi perubahan tingkat pencahayaan dari terang ke gelap tidak secepat mengadaptasi perubahan tingkat pencahayaan dari gelap ke terang. Hal ini yang disebut sebagai kondisi *black out*. Tingkat pencahayaan untuk terowongan dinyatakan dalam nilai-nilai horisontal rata-rata jalan raya pada kondisi yang minimum. Pemantulan dinding sebesar 70% atau lebih dan penggunaan lumener (rumah lampu) yang menerangi jalan dan dinding, akan menghasilkan tingkat pencahayaan horisontal sesuai ketentuan, sehingga jarak pandang akan memuaskan atau cukup baik. Pada kondisi inilah, tingkat pencahayaan horisontal juga akan memberikan tingkat pencahayaan vertikal yang cukup.

Pencahayaan terowongan di malam hari berbeda dengan pencahayaan terowongan siang hari. Namun secara umum pencahayaan terowongan ditentukan oleh faktor-faktor berikut ini [Philips, 1993]:

1. *Lighting Control* (kontrol pencahayaan)

Luminansi yang dihasilkan oleh pencahayaan terowongan haruslah memenuhi standar prosentase dari luminansi zona akses. Luminansi zona akses juga berubah mengikuti perubahan kondisi sinar matahari di luar. Hal ini menyebabkan munculnya fasilitas switching otomatis yang memungkinkan pengaturan level pencahayaan buatan di sepanjang terowongan sehingga rasio luminansi *threshold* terhadap luminansi akses tidaklah berubah. Photocells memantau tingkat iluminansi di muka terowongan secara terus menerus. *Photocells* akan menghasilkan sinyal yang menjadi masukan untuk mengatur *switching* pencahayaan. *Switching* sendiri dapat dilakukan secara terus menerus (kontinyu) maupun bertahap (*stepwise*). Pemantauan luminansi akses secara langsung dengan sebuah photometer lebih disukai karena pengaturan *switching* menjadi lebih akurat untuk berbagai kondisi, seperti kondisi basah, kering, diliputi salju, dan lainnya. Sebuah photometer dapat mengkompensasi kurangnya perawatan (*maintenance defects*).

Demi alasan kenyamanan dan ekonomi, penurunan tingkat pencahayaan tidak boleh dilakukan dengan skala 3:1. Sedangkan kenaikan tingkat pencahayaan dapat dilakukan dengan skala maksimum 5:1. Beberapa langkah *switching* juga dapat dihilangkan untuk menghemat energi. Terobosan ini hanya dapat dilakukan jika diketahui banyaknya sinar matahari sebagai fungsi waktu di lokasi tertentu.

2. *Glare* (silau)

Glare mengurangi jarak pandang sehingga *glare* harus diminimalisasi. Ukuran *glare*, yang disebut *Threshold Increment* (TI), harus bernilai kurang dari 15 persen untuk semua zona, terkecuali zona exit pada saat matahari bersinar. Jika luminansi rata-rata dari trotoar dan dinding yang membentuk *background* bernilai tidak lebih dari 5 cd/m² maka formula yang digunakan untuk menghitung *glare* adalah sebagai berikut:

$$TI = 65 L_v / (L_{av})^{0,8} \dots\dots\dots(1)$$

Jika luminansi rata-rata dari trotoar dan dinding yang membentuk *background* bernilai lebih dari 5 cd/m² maka formula yang digunakan untuk menghitung *glare* adalah sebagai berikut:

$$TI = 95 L_v / (L_{av})^{0,8} \dots\dots\dots(2)$$

dengan:

L_v = luminansi *veiling* yaitu luminansi tabir cahaya yang disebabkan oleh *glare*

L_{av} = luminansi rata-rata permukaan jalan

TI = *threshold increment* (ukuran *glare* yang digunakan)

Luminansi *veiling* disini dihasilkan oleh semua lumener di lokasi dengan sudut 20 derajat dari horisontal.

3. *Uniformity* (kemerataan)

Permukaan jalan dan dinding terowongan harus memiliki kemerataan luminansi yang baik supaya keduanya dapat membantu pendeteksian rintangan-rintangan pada jalur kendaraan dalam terowongan. Jalan dan dinding setinggi 2 meter sebaiknya memiliki rasio luminansi keseluruhan (L_{min}/L_{av}) lebih besar dari 0,4. Luminansi rata-rata pada dinding tidak boleh lebih rendah daripada luminansi rata-rata pada jalan yang berbatasan dengannya, tanpa menghilangkan garis-garis lantai pada jalan (kerb). Rasio luminansi longitudinal

sepanjang garis tengah setiap jalur (L_{min}/L_{max}) harus bernilai lebih besar dari 0,6. Keseragaman yang terlalu tinggi untuk jarak yang jauh tidaklah disarankan karena dapat menyebabkan keletihan pada pengemudi (fatigue) dan juga menyebabkan hilangnya kontras.

4. *Flicker* (kilatan cahaya)

Luminaire yang dipasang pada baris yang berselang-seling di sepanjang terowongan dapat menghasilkan flicker di mata pengemudi. *Flicker* disebabkan oleh cahaya dari luminaire sendiri dan oleh pantulan cahaya luminaire pada permukaan-permukaan yang bersinar, seperti: tubuh penutup mesin kendaraan (bonnet of a vehicle), dan dan bagian belakang mobil lain yang sedang diikuti.

Flicker yang mengganggu pengemudi akan tergantung pada ketiga faktor berikut ini [4]:

- Perbedaan luminansi dalam satu siklus tunggal
- Jumlah perubahan luminansi yang terjadi tiap detik (flicker frequency)
- Waktu total terjadinya *flicker*







Faktor pertama di atas tergantung pada karakteristik optik dari *luminaire* yang digunakan. Kedua faktor lainnya tergantung pada kombinasi dari kecepatan kendaraan, jarak antar luminaire, dan panjang terowongan. Gangguan yang disebabkan oleh *flicker* pada umumnya dapat diabaikan pada frekuensi di bawah 2,5 Hz dan di atas 15 Hz. Frekuensi *flicker* dirumuskan sebagai berikut [2]: Frekuensi *flicker* (Hz) = kecepatan lalu-lintas (meter/detik) dibagi jarak antar lumener (meter). Pencahayaan terowongan pada malam hari, pemecahan masalahnya lebih sederhana karena berasal dari pencahayaan buatan seluruhnya. Ada 2 hal yang perlu dipertimbangkan [CIE, 2004]:

- Jika terowongan adalah bagian dari jalan raya yang diberi penerangan maka kualitas cahaya di dalam terowongan sedikitnya harus sama dengan kualitas cahaya di luar terowongan, sehingga membentuk tingkat pencahayaan yang uniform. Kemerataan pencahayaan ini sama dengan kemerataan pencahayaan dalam terowongan pada siang hari
- Jika terowongan bukan merupakan bagian dari jalan raya yang diterangi, maka luminansi di permukaan jalan raya minimal sebesar 1 cd/m². Kemerataan menyeluruh sekurangnya 40% dan kemerataan longitudinal sekurangnya adalah 60%.

Ada beberapa macam pengaturan pencahayaan terowongan dan teknik aplikasi cahaya lampu terowongan. Pengaturan susunan lampu dalam terowongan untuk mencapai tingkat pencahayaan yang sesuai yaitu [Thorn, 2004]:

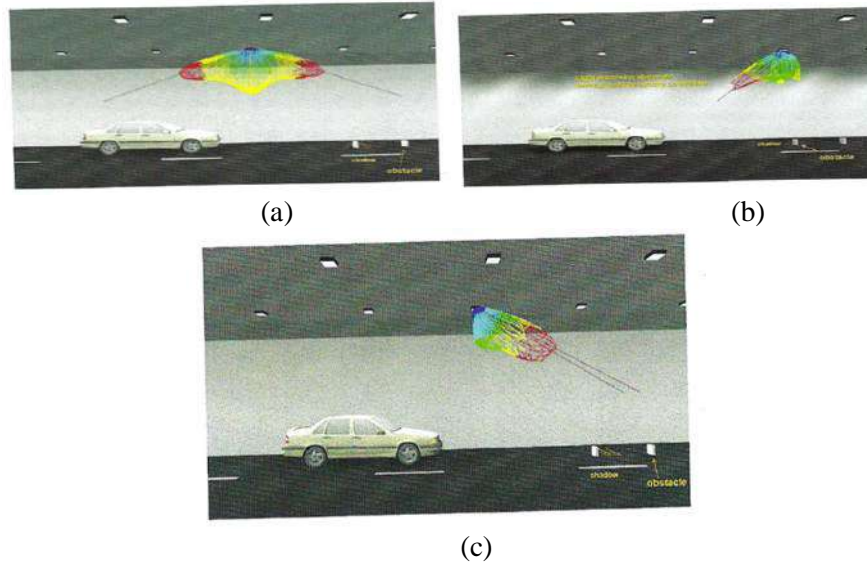
- Ceiling mounting*, yaitu pemasangan luminair di sepanjang atap/ceiling terowongan, bisa dipasang pada 1 *line* maupun 2 *line*.
- Wall mounting*, yaitu pemasangan lumener di sepanjang dinding terowongan, biasanya dipasang dalam 2 *line* dikiri dan kanan terowongan. Karakteristik serta kelebihan dan kekurangan dari masing-masing pengaturan lampu dapat dilihat pada Tabel 1.

■ **Tabel 1.** Karakteristik pengaturan pencahayaan terowongan [Thorn, 2004]

	Mounting constraint	Arrangement type	Advantages	Disadvantages	Tunnel profile
Ceiling mounting	Enough spacing above legal and protection minimum height	Above road on several rows 	- best utilisation factor for luminaires - glare limited	- luminaires concealed by signs 	- Arched type with or without fan tubes - Framed type with or without fan tubes
		1 row above road 	- less investment and maintenance	- heavy fixings - closure of carriageway required	
Wall mounting	Not enough spacing above legal and protection minimum height	Twin opposite 	- easier access to luminaires - 1 lane only need be closed	- utilisation factor downgraded - high glare	- Arched type with fan tubes - Framed type with or without fan tubes
		Single sided 	- less investment and maintenance	- beware trucks blocking light 	

Teknik Aplikasi cahaya lampu ditentukan oleh lumener yang akan menentukan distribusi pencahayaan di terowongan. Terdapat 3 (tiga) teknik aplikasi cahaya, yang dapat dilihat pada Gambar 2 [ANSI/IES Rp-22-11, 2011] yaitu:

- Symmetrical Light Distribution* (Gambar 6.a), distribusi cahaya simetri.
- Asymmetrical Light Distribution - Negative Contrast* (ALD-NC) dikenal juga sebagai *Counterbeam Lighting* (CBL) seperti pada Gambar 6.b, distribusi cahaya dominan menuju ke pengendara kendaraan, luminansi di permukaan jalan tinggi, arah cahaya searah kendaraan diminimalkan dan meningkatkan kontras negatif.
- Asymmetrical Light Distribution - Positive Contrast* (ALD-PC) dikenal juga sebagai *Pro-beam Lighting* (PBL) seperti Gambar 6.c, arah cahaya dominan searah dengan lalu lintas, luminansi ke arah obyek tinggi dan luminansi di permukaan jalan mempunyai kontras yang positif.



■ Gambar 2. Teknik aplikasi cahaya lampu Terowongan

Karakteristik udara dalam terowongan berbeda dengan karakteristik udara di jalan raya biasa. Di dalam terowongan, konsentrasi gas buang kendaraan akan lebih tinggi dari jalan raya biasa karena pertukaran udara lebih lambat dibanding dengan jalan raya biasa. Dengan demikian lampu penerangan yang digunakan juga harus lebih tahan terhadap zat-zat berbahaya yang terkandung dalam gas buang kendaraan seperti asam sulfat, asam nitrat, karbon mono oksida dan sejenisnya. Beberapa jenis lampu yang direkomendasikan untuk digunakan sebagai lampu penerangan dalam terowongan adalah [(Liu, 2005), (Phadnis, 2012), (SNI, 2008) dan (ANSI/IES Rp-22-11, 2011)]:

1. Lampu Fluorescent
2. Lampu Sodium tekanan rendah
3. Lampu sodium tekanan tinggi
4. Lampu merkuri tegangan tinggi
5. Lampu LED (Light Emitting Diode)
6. Electrodeless lamps (Lampu Induksi) [Buraczynski, et al, 2010]

HASIL PENGAMATAN DAN PENGUKURAN TEROWONGAN PASAR REBO.

Terowongan ini dikenal juga sebagai terowongan TB Simatupang karena terletak di jalan TB Simatupang, suasana terowongan pada malam hari seperti terlihat pada Gambar 3. Terowongan Pasar Rebo merupakan terowongan dua arah, yaitu terowongan ke arah Kampung Rambutan dan ke arah Cijantung, namun masing-masing tidak saling terlihat karena dipisahkan oleh dinding pembatas seperti terlihat Gambar 3. Jadi sebenarnya terowongan ini termasuk pada tipe *divided tunnel*, yaitu hanya ada satu arah lalu lintas pada tiap terowongan. Terowongan ini dapat digunakan untuk kendaraan dalam tiga lajur dan dilengkapi dengan bahu jalan selebar 1m, dengan trotoar yang sangat minim yaitu sekitar 30 cm, atau hampir dikatakan tidak mempunyai trotoar, karena hanya merupakan saluran tepi jalan yang tanpa penutup. Jumlah lampu pada masing-masing terowongan adalah 66 buah lampu, yang terdiri 61 lampu *High Pressure Sodium* (HPS) dengan warna kuning yaitu dengan CCT adalah 2000 K dan 5 buah lampu LED, warna putih dengan CCT 5000 K. Panjang terowongan 270 m, lebar sekitar 14,5 m dan tinggi 5 m. Lampu dipasang dengan jarak sama pada semua zona yaitu 4 meter. Terowongan Pasar Rebo merupakan terowongan satu arah (satu jalur) yang terdiri dari 3 lajur.

Hasil pengukuran iluminansi pada terowongan ini bervariasi antara 58,3 lux sampai dengan 155,5 lux, hasil pengukuran luminansi bervariasi dari 0,85 Cd/m² sampai dengan 11,8 Cd/m² dan nilai kemerataannya adalah U₀ yaitu 0,08 untuk iluminansi dan 0,017 untuk luminansi, sedangkan U₁ adalah 0,32 untuk luminansi. Iluminansi dan luminansi terowongan TB Simatupang jauh lebih besar dari rekomendasi SNI, yaitu 20 lux. Kemerataan dengan nilai jauh lebih kecil 0,2 dan 0,4 serta 0,7 (standar SNI) menunjukkan perbedaan yang besar antara iluminansi dan luminansi minimum terhadap maksimum, juga terhadap nilai rata-ratanya. Hal ini disebabkan pemasangan lampu yang kurang tepat, yaitu lampu dipasang berselang seling dengan cara lumener di pasang di dinding bagian atas terowongan (sistem *recessed*) yang disorotkan ke arah bawah dan lumener di tempel (sistem *surface mounting*) di dinding atas yang disorotkan agak ketengah permukaan jalan. Secara keseluruhan sistem pemasangan lampu di terowongan TB Simatupang disebut dengan sistem *wall mounting asymmetrical lighting* (Thorn, 2004). Pencahayaan di jalan raya sebelum dan sesudah terowongan adalah (< 10 lux), iluminansi ini tidak memenuhi rekomendasi SNI yaitu 11 – 20 lux. Seharusnya iluminansi di luar dan di dalam terowongan pada malam hari adalah sama atau mendekati sama. Perbedaan iluminansi yang tinggi antara pencahayaan di jalan raya menuju terowongan dan keluar terowongan akan menimbulkan ketidaknyamanan visual pada pengemudi.

Jenis lampu HPS dan sebagian kecil LED yang dipasang berselang-seling pada terowongan TB Simatupang, menyebabkan kesan warna yang bercampur antara kuning dan putih (lihat Gambar 4). Sebaiknya pemasangan lampu pada satu terowongan adalah satu jenis, sehingga kesan warna yang dimunculkan adalah sama, yaitu kuning (*warm*) atau putih (*daylight* atau *cool daylight*). Apabila terdapat dua kesan warna yang berbeda, hal ini menunjukkan kurangnya perencanaan pemilihan jenis lampu pada terowongan tersebut. Namun apabila ada keinginan dari pihak pengelola terowongan (dalam hal ini adalah Jasa Marga) untuk mengganti jenis lampu HPS ke lampu LED yang lebih tinggi efikasi dan lebih panjang umurnya (yaitu mencapai > 50.000 jam), serta lebih baik renderasi warnanya (yaitu 83%), maka sebaiknya dicarikan kesan warna yang sama yaitu dengan pemilihan temperatur warna yang sama (Setyaningsih, 2013). Pemasangan lampu HPS dan lampu LED seperti terlihat paa Gambar 5.



■ **Gambar 3.** Tampak terowongan Pasar Rebo dua arah yang dipisahkan dengan dinding pemisah.



■ **Gambar 4.** Warna cahaya kuning bercampur dengan warna cahaya putih



■ **Gambar 5.** Pemasangan lampu HPS dan LED di terowongan Pasar Rebo

Selain melakukan analisis yang didasarkan pada pengukuran di lapangan, pada terowongan Pasar Rebo ini juga di lakukan analisis berdasarkan simulasi dengan menggunakan perangkat lunak Dialux. Hasil simulasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 6, yang merupakan denah terowongan Pasar Rebo, tampak bahwa di dalam terowongan ini terdapat 2 (dua) lubang cahaya pada bagian atap terowongan. Gambar 7 menunjukkan hasil dialux dari Iluminansi terowongan Pasar Rebo malam hari dan Gambar 8 adalah nilai Luminansi terowongan Pasar Rebo

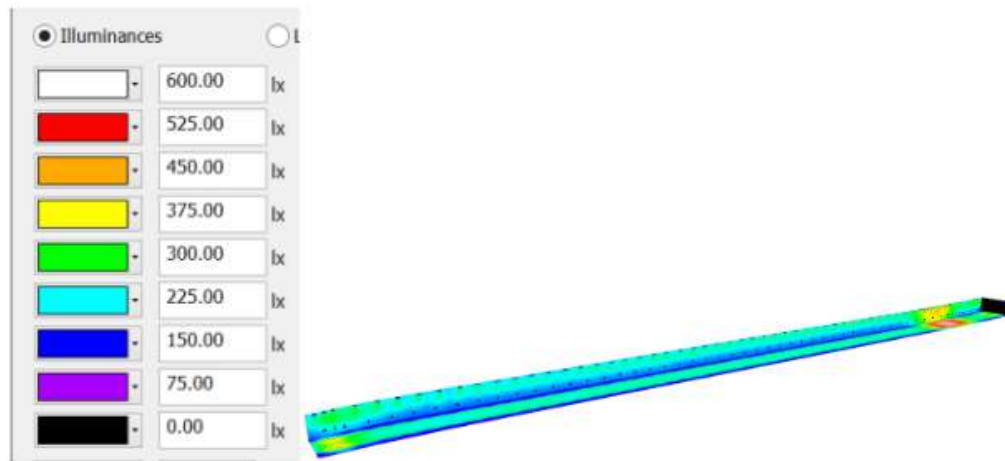
pada malam hari. *Isoline* dari pencahayaan terowongan Pasar Rebo seperti pada Gambar 9, menunjukkan garis-garis dengan iluminansi yang sama yaitu antara 300 lux sampai dengan 500 lux.

Hasil perbandingan antara hasil pengukuran dan hasil simulasi dengan perangkat lunak Dialux terhadap standar SNI untuk luminansi, iluminansi dan pemerataan pencahayaan malam hari di terowongan Pasar Rebo dapat dilihat pada Tabel 2. Terlihat bahwa Luminansi di bagian depan terowongan (L_{tr}) hasil ukur lebih kecil L_{tr} standar SNI tapi iluminansi E_{tr} lebih besar dari pada E_{ev} standar, Luminansi di bagian dalam terowongan (L_{int}) dan iluminansi E_{int} hasil ukur lebih besar dari pada L_{int} dan E_{ev} standar SNI. *UniFormity*/kemerataan U_0 dan U_1 hasil ukur dan simulasi tidak sesuai SNI (U_0 dan U_1 hasil ukur dan hasil simulasi lebih kecil dari pada U_0 dan U_1 standar SNI). U_0 adalah perbandingan antara iluminansi atau luminansi minimum terhadap iluminansi atau luminansi maksimum. U_1 adalah perbandingan iluminansi minimum atau luminansi minimum terhadap iluminansi atau luminansi rata-rata.

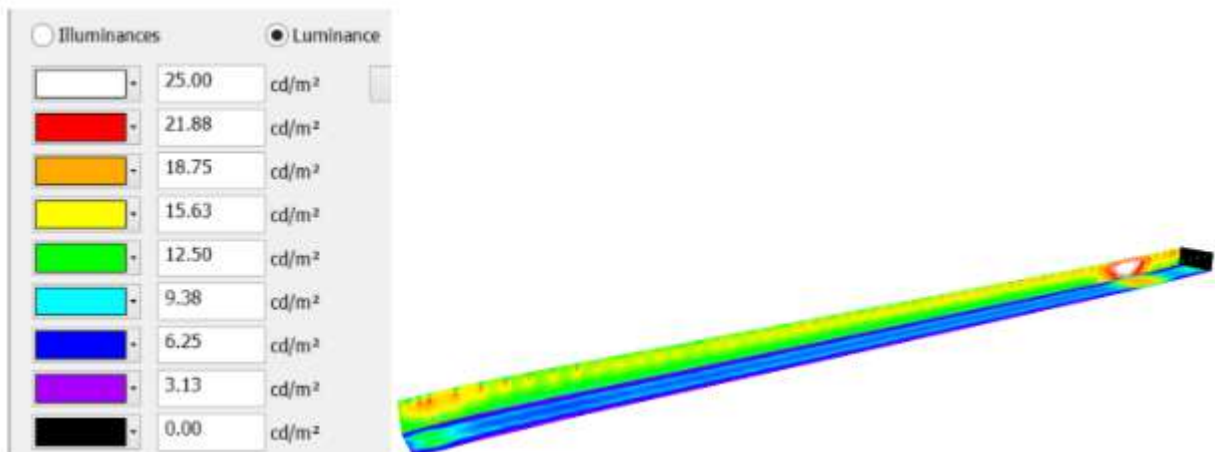
Nilai Iluminansi, Luminansi dan kerataan yang diperoleh dari hasil pengukuran tidak sama dibandingkan dengan hasil simulasi Dialux. Hal ini disebabkan faktor perawatan yang kurang baik dari terowongan Pasar Rebo, sehingga banyak lumener lampu yang kotor. Lumener yang kotor akan mengurangi intensitas cahaya dari lampu yang digunakan dalam terowongan. Demikian juga faktor refleksi dari permukaan jalan dan dinding serta atap terowongan juga akan mempengaruhi intensitas cahaya dari lampu tersebut. Nilai hasil pengukuran lebih kecil dibandingkan dengan hasil simulasi Dialux. Perancangan dengan menggunakan perangkat lunak Dialux didasarkan pada kondisi terowongan masih baru, sehingga lumener dan dinding serta atap terowongan dianggap bersih. Untuk itu perlu secara berkala dilakukan perawatan yaitu dengan membersihkan bola lampu dan rumah lampunya, demikian juga kebersihan lingkungan terowongan tersebut. Selain itu bila lampu sudah mendekati 80% dari umur lampu tersebut, maka lampu terowongan harus segera diganti, supaya fluks luminousnya terjaga stabil.



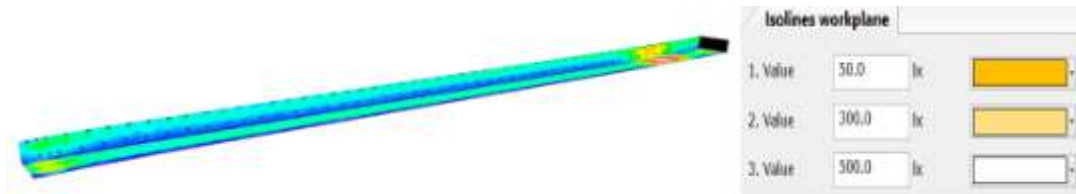
■ Gambar 6. Denah Terowongan Pasar Rebo



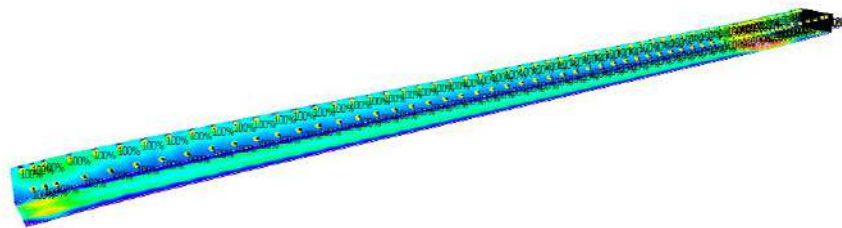
■ Gambar 7. Iluminansi Terowongan Pasar Rebo Malam Hari



■ Gambar 8. Luminansi Terowongan Pasar Rebo Malam Hari



■ **Gambar 9.** Isolines Terowongan Pasar Rebo Malam Hari



■ **Gambar 10.** Menunjukkan tidak ada dimming pada Terowongan Pasar Rebo Malam Hari (ditunjukkan nilai 100% dari hasil display)

■ **Tabel 2.** Perbandingan hasil pengukuran dan hasil simulasi terhadap standar SNI pencahayaan terowongan malam hari untuk terowongan Pasar Rebo.

No.	Parameter	Terowongan Pasar Rebo Malam Hari			
		Standar SNI	Hasil Pengukuran	Hasil Simulasi Dialux	Hasil Perbandingan
1	Luminansi di bagian depan terowongan = L_{tr}	$L_{tr} = 2 \text{ cd/m}^2$ $E_{ev} = 20 - 25 \text{ lux}$	$L_{tr} = 0,84 \text{ cd/m}^2$ $E_{th} = 36,4 \times 1,6 = 58,3 \text{ lux}$	-	L_{tr} hasil ukur < L_{tr} standar tapi $E_{th} > E_{ev}$ standar SNI
2	Luminansi di bagian dalam terowongan = L_{int} (interior)	$L_{int} = L_{tr}$ = 2 cd/m^2 $E_{ev} = 20 - 25 \text{ lux}*****$	$L_{int} = 4,55 \text{ cd/m}^2$ $E_{int} = 97,2 \times 1,6 = 155,5 \text{ lux}$	$L = 7,59 \text{ cd/m}^2$ $E_{ev} = 247 \text{ lux}$	L_{int} dan E_{int} hasil ukur > L_{int} dan E_{ev} standar SNI
3	<i>Uni Formity/</i> kemera Taan (U_o dan U_1)	$E_{min}/E_{maks} (U_o) = 0,2$ dan $L_{min}/L_{maks} (U_o) = 0,4$ dan $L_{min}/L_{ev}(U_1) = 0,7$ *****	$E_{min}/E_{maks} = 0,08$ dan $L_{min}/L_{maks} = 0,17$ dan $L_{min}/L_{ev} = 0,32$	$L_{min}/L_{ev} = 0,484$	U_o dan U_1 hasil ukur dan simulasi tidak sesuai SNI (U_o dan U_1 hasil ukur dan hasil simulasi < U_o dan U_1 SNI)

Keterangan

- (*) = Kecepatan rencana terowongan Pasar Rebo adalah 80 km/jam, (NPRA, 2004).
- (**) = Luminansi = Iluminansi x faktor koreksi, yang disesuaikan dengan faktor refleksi permukaan jalan atau dinding. Untuk $L_R = L_{Road}$ dengan faktor koreksi = 0,064, (ANSI/IES Rp-22-11, 2011)
- (***) = kecepatan disetarakan dengan 80 km/jam, ANSI/IES Rp-22-11, 2011. Arah pengemudi pada arah Timur-Barat (*East-West*), sesuai dengan arah terowongan Pasar Rebo. Karakteristik terowongan Pasar Rebo adalah *urban tunnel*, yaitu di daerah perkotaan. Faktor koreksi = 0,064, refleksi dinding = 0,2.
- (****) = kecepatan rencana 80 km/jam, faktor koreksi = 0,064 dengan refleksi dinding = 0,2 (ANSI/IES Rp-22-11, 2011). *Traffic flow* >2.400 AADT <24.000 AADT (*Annual Average Daily Traffic*)
- (*****) = nilai *uniformity* diperoleh dari standar ANSI/IESNA Rp-8-2000, sedangkan bila menurut SNI No. 739, 2008 adalah 0,4 perbandingan antara L_{min} terhadap L_{maks} . Bila perbandingan antara L_{min} terhadap $L_{rata-rata}$

adalah 0,7. Nilai E_{ev} diambil dari SNI No. 7391, 2008. Standar SNI hanya ada parameter E_{ev} dan L_{ev} .

(*****) = angka 1,6 adalah diperoleh berdasarkan kalibrasi alat ukur luxmeter.

KESIMPULAN

Berdasarkan survei lapangan yaitu dengan melihat langsung terowongan pada malam hari dan melakukan pemotretan pada terowongan tersebut. Juga berdasarkan pengukuran dan simulasi dengan perangkat lunak Dialux, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pencahayaan terowongan Pasar Rebo pada malam hari belum sesuai dengan standar SNI yang meliputi iluminansi, luminansi dan kemerataannya.
2. Iluminansi dan Luminansi terowongan Pasar Rebo pada malam hari jauh lebih besar dari pada di jalan raya sebelum maupun sesudah keluar terowongan. Seharusnya pencahayaan terowongan pada malam hari sama atau mendekati sama dengan pencahayaan jalan raya.
3. Nilai Iluminansi, Luminansi dan kerataan yang diperoleh dari hasil pengukuran tidak sama dibandingkan dengan hasil simulasi Dialux. Hal ini disebabkan faktor perawatan yang kurang baik dari terowongan Pasar Rebo. Nilai hasil pengukuran lebih kecil dibandingkan dengan hasil simulasi Dialux.
4. Penggunaan 2 jenis lampu yang berbeda temperatur warnanya, memberikan efek yang kurang baik bagi pengendara kendaraan.
5. Penghematan energi dapat dilakukan dengan penggunaan lampu LED atau induksi, namun lampu yang digunakan pada terowongan Pasar Rebo masih menggunakan lampu High Pressure Sodium.
6. Perlu dilakukan otomatisasi pada sistem pencahayaan terowongan, agar pengaturan iluminansi pada malam hari memenuhi aspek kualitas pencahayaan suatu terowongan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Buraczynski, John J.; Li, Thomas K.; Kwong, Chris; and Lutkevich, Paul J., 2010. "Tunnel Lighting Systems" 4th International Symposium on Tunnel Safety and Security. Frankfurt Germany.
- [2] Commision International de L'Ecclairage, 2004. "CIE Technical Report: Guide for Lighting Road Tunnels and Underpasses CIE 88-2004" 2nd Edition. Vienna: CIE Central Bureau.
- [3] Departemen Pekerjaan Umum, Geometri Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol: Standar Kontstruksi dan Bangunan, Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, 2009, No. 007/BM, halaman 7.
- [4] Fat, Joni; Setyaningsih, Endah; Zureidar, Ida; Wardhani, Lydwina., "Performance of LED Lights Installed on DKI Jakarta Streets (Case Study on Pattimura Street dan Satrio Street, South Jakarta)", 2014, The 7th – Electrical Power, Electronics, Communications, Controls, and Informatics International Seminar 2014
- [5] Illuminating Engineering Society, 2010. "IES Lighting Handbook", 9th edition.
- [6] Illuminating Engineering Society of North America, 2005. "ANSI/IESNA RP-22-05: American National Standard Practice for Tunnel Lighting". New York: IESNA.
- [7] Liu, Huo-Yen, 2005. "Design Criteria for Tunnel Lighting", World 2005 Long Tunnel.
- [8] Nordisk VejtekniskForbund, 1995. "Road Tunnel Lighting: Common Nordic guidelines". Copenhagen: NVF.
- [9] Phadnis, Mohit, 2012. "LIGHTING DESIGN OF AN URBANISED TUNNEL"
- [10] Setyaningsih, Endah; Zureidar, Ida; Susatyo, Budi., 2013, "Evaluasi Tata Pencahayaan Kawasan Jalan Non Tol Pangeran Antasari", Dinas Perindustrian dan Energi, DKI Jakarta.
- [11] SNI No. 7391, Penerangan Jalan Umum, Badan Standarisasi Nasional, 2008.
- [12] Thorn, 2004. "Tunnel Lighting". Hertfordshire: Thorn Lighting Main Office.
- [13] Setyaningsih, Endah; Pragantha, Jeanny dan Wardhani, Lydwina, 2014, Tunnel Lighting For Vehicles In DKI Jakarta, 17FSTPT International Sympocium, Jember, 23 Agustus 2014.