BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Penerangan lampu jalan merupakan salah satu sistem penerangan yang berada diluar gedung. Sistem lampu jalan yang baik merupakan bagian dari tata pencahayaan yang berguna menunjang keselamatan bagi pengguna trotoar jalan maupun pengemudi kendaraan. Adapun fungsi lampu jalan secara garis besar adalah sebagai berikut:[1]

1) Menghasilkan kekontrasan antara obyek dan permukaan jalan;
2) Sebagai alat bantu navigasi pengguna jalan;
3) Meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan, khususnya pada malam hari;
4) Mendukung keamanan lingkungan;
   Memberikan keindahan lingkungan jalan.

Untuk menentukan perencanan penempatannya diperlukan pertimbangan pertimbangan, berdasarkan *American Standart Practice For Roadway Lightning of Illuminating Enginering Society* adalah sebagai berikut:

a. Klasifikasi dari kepadatan jalan.
b. Pembagian intensitas cahaya yang disediakan untuk klasifikasi jalan tersebut.
c. Pemilihan tata pencahayaan yang cocok untuk distribusi cahaya yang diperlukan bagi jalan tersebut.
d. Penempatan tata letak lampu yang sesuai dengan tata pencahayaan pada permukaan jalan raya yang sebanding dengan jarak antar lampu yang akan di tempatkan.

[1] Badan standardisasi nasional "penerangan dikawasan perkotaan" 7391:2008, hal 12

Untuk menentukan perencanaan penempatannya diperlukan pertimbangan pertimbangan berdasarkan BSN (badan standarisasi nasional) adalah sebgai berikut: [2]

1) Perencanaan penerangan jalan terkait dengan hal-hal berikut ini :

a) Volume lalu-lintas, baik kendaraan maupun lingkungan yang bersinggungan seperti pejalan kaki, pengayuh sepeda, dll;
b) Tipikal potongan melintang jalan, situasi (*lay-out*) jalan dan persimpangan jalan;
c) Geometri jalan, seperti alinyemen horisontal, alinyemen vertikal, dll;
d) Tekstur perkerasan dan jenis perkerasan yang mempengaruhi pantulan cahaya lampu penerangan;
e) Pemilihan jenis dan kualitas sumber cahaya/lampu, data fotometrik lampu dan lokasi sumber listrik;
f) Tingkat kebutuhan, biaya operasi, biaya pemeliharaan, dan lain lain, agar perencanaan sistem lampu penerangan efektif dan ekonomis;
g) Rencana jangka panjang pengembangan jalan dan pengembangan daerah sekitarnya;
h) Data kecelakaan dan kerawanan di lokasi.

2) Beberapa tempat yang memerlukan perhatian khusus dalam perencanaan penerangan jalan antara lain sebagai berikut :

a) Lebar ruang milik jalan yang bervariasi dalam satu ruas jalan;
b) Tempat-tempat dimana kondisi lengkung horisontal (tikungan) tajam;
c) Tempat yang luas seperti persimpangan, *interchange*, tempat parkir, dll;
d) Jalan-jalan berpohon;
e) Jalan-jalan dengan lebar median yang sempit, terutama

[2] Badan standardisasi nasional "penerangan dikawasan perkotaan" 7391:2008, hal 12.

untuk pemasangan lampu di bagian median;

f) Jembatan sempit/panjang, jalan layang dan jalan bawah tanah (terowongan);

g) Tempat-tempat lain dimana lingkungan jalan banyak berinterferensi dengan jalannya.

2.1. Klasifikasi Sistem Penerangan[3]

Klasifikasi dibedakan lima jenis sistem penerangan yaitu:

1. Sistem Penerangan Langsung
2. Sistem Penerangan Tidak Langsung
3. Sistem Penerangan diffus
4. Sistem Penerangan Semi Tidak Langsung
5. Sistem Penerangan Semi Langsung

2.1.1 Sistem Penerangan Langsung

Pada sistem ini 90-100% cahaya diarahkan secara langsung pada permukaan yang perlu di terangi. Sistem ini paling efektif dalam menyediakan penerangan, akan tetapi mengakibatkan adanya bayangan-bayangan yang pengganggu serta adanya kesilauan-kesilauan.

2.1.2. Sistem Penerangan Tidak langsung

Pada sistem ini 90-100% cahaya diarahkan ke langit-langit atau dinding bagian atas untuk dipantulkan dan kemudian menerangi seluruh ruangan berupa cahaya diffus. Keseluruhan langit-langit menjadi sumber cahaya, maka perlu diberi finishing dan pemeliharaan yang baik dengan warna yang muda tidak menyilaukan.lampunya/bola lampu perlu dibersihkan secara berkala, karena adanya lapisan debu dan kotoran dapat menyerap 23% output cahaya.

[3] Hazairin Samaulah, Teknik Instalasi Tenaga Listrik, hal 13.

2.1.3. Sistem Penerangan Diffus

Pada sistem ini 50% cahaya diarahkan langsung pada permukaan yang perlu diterangi, sedangkan sisanya menerangi serta di pantulkan oleh langit-langit dan dindingg. Sistem ini juga dapat di katakan sistem direct-indirect. Masalah-masalh bayangan dan kesilauan masih terdapat pada sistem ini.

2.1.4. Sistem Penerangan Semi Tidak Langsung

Sistem ini disebut semi tidak langsung apabila 60-90% cahaya diarahkan ke langit-langit dan dinding bagian atas dan samping sedangkan sisanya kepermukaa yang perlu diterangi. Oleh karena itu langit-langit perlu diberi finishing dan pemeliharaan yang baik. Masalah bayangan praktis tidak ada dan kesilauannya pun dapat di kurangi.

2.1.5. Sistem Penerangan Semi Langsung

Pada sistem ini 60-90% cahaya di arahkan langsung pada permukaan yang perlu diterangi, sedangkan selebihnya menerangi serta dipantulkan oleh langit-langit dan dinding. Dengan demikian keberatan-keberatan sistem iluminasi langsung diatas dapat dikurangi. Kiranya perlu juga dikemukakan disini bahwa plesteran putih memiliki koefisien pemantulan 90%, sedangkan cat putih antara 75-90%.

2.2 Istilah-Istiah Dalam Sistem Penerangan Lampu Jalan

1. Intensitas cahaya (I)
2. Arus Cahaya (f)
3. Kuat penerangan (E)
4. Luminasi (L)

2.2.1. Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya (I) dengan satuan kandela (cd) adalah arus cahya dalam lumen yang diemisikan setiap sudut ruang(pada arah tertentu) oeh sebuah sumber cahaya. Pada 1979 diadakan pendefinisian kembali sebagai berikut: Intensitas

cahaya pada arah khusus dari sebuah sumber penemisi radiasi monokromatik pada frekuensi 540x1012 Hz (0,555mm) dan intensitas radiasi pada arah tersebut adalah 1/683 watt per steradian.

Kata kandela berasal dari candle (lilin) merupakan satuan tertua pada teknik peneranan dan di ukur berdasarkan intensitas cahaya standar. Fotometer standar primer merupakan black body radiasi yang intinya terbuat dari platina dan thorium oksida, intensitas cahaya diukur pada temperatur platina (2042K). Sedangkan untuk laboratorium produsen lampu untuk menera produknya digunakan sumber standar sekunder berupa lampu pijar dengan konstruksi khusus(filamennya di pasang vertikal).

Intensitas cahaya (I) dapat dinyatakan sebagai perbandingan diferensial arus cahaya (lm) dengan diferensial sudut ruang (sr):

$$I = uf_{total} x \, \phi \, lampu \quad \text{..... (2.1)}$$

Intensitas cahaya 1cd menegeluarkan arus cahaya (ϕ) sebesar 1 lm di udara.besarnya intensitas cahay yang dihasilkan suatu sumber cahya adalah tetap, baik di pancarkan secara terpusat maupun menyebar.

Tabel 2.1 Intesitas Cahaya Beberapa Sumber Cahaya

Sumber cahaya	I(cd)
Lampu sepeda (tanpa reflektro)	1
Lampu sepeda (pakai reflektro)	250
Lampu suar	2000000

2.2.2 Arus Cahaya[4]

Aliran rata-rata energi cahaya adalah fluks cahaya atau arus cahaya (F). Arus cahaya didefinisikan sebgai jumlah total cahya yang dipancarkan leh

[4] Muhaimin, Teknologi Pencahayaan, hal 6.

sumber cahya setiap detik. Besarnya arus cahaya dengan satuan lumen (lm) dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\phi=\frac{Q}{t}lm \quad \text{..... (2.2)}$$

dengan: $Q =$ energi cahaya(lm.dt)

t = waktu (dt)

setiap lampu listrik memiliki efiiensi yaitu lumen yang dihasilkan suatu lampu setiap watt (lm/W). Sebuah lampu pijar 40 W yang mempunyai efiksi 14 lm/W memancarkan arus cahaya sebesar 560 lm.

Eneri cahaya atau kuantitas cahaya (Q) merupakan produk radiasi visual (aru cahaya) pada selang waktu tertentu, dinyatakan dengan lumen detik (lm.dt).

$$Q = \int \phi.(t)dt \quad \text{.....(2.3)}$$

Energi cahaya ini penting untuk menentukan bayaknya energi listrik yang digunakan pada suatu instalasi penerangan.

2.2.3 Kuat/intensitas Penerangan[5]

Kuat penerangan (E) adalah pernyataan kuantitatif untuk arus cahaya (ϕ) yang menimpa atau sampai pada permukaan bidang. Kuat penerangan disebut pula tingkat penerangan atau intensitas penerangan perbandingan antara intensitas cahaya (I) dan luas permukaan (A) yang mendapat penerangan.

$$E=\frac{I}{A}lux \quad \text{.....(2.4)}$$

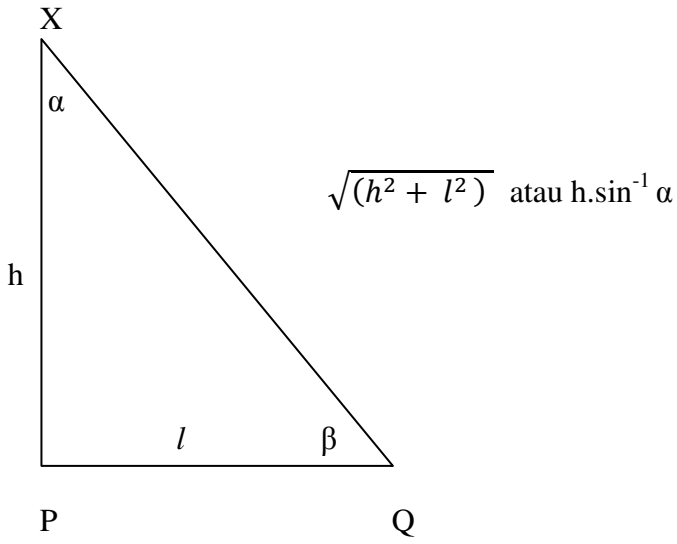
Karena arus cahaya $\phi= \omega.I$ dan karena penyebaran cahaya meruang sehingga luas daerah penerangan (merupakan kulit bola) $A=\omega. R^2$

[5] Muhaimin, Teknologi Pencahayaan, hal 8.

Dengan menganggap sumber penerangan sebgai titik yang jaraknya (h) dari bidang penerangan maka kuat penerangan (E) dalam lux (lx) pada suatu titik bidang penerangan adalah:

E= $\frac{I}{h^2} lx$ .....(2.5)

Persamaan (2.5) lazim disebut hukum kuadrat terbalik(invers square law). Kalau pada skema dibawah ini X sebagai sumber cahaya, maka besarnya E pada titik P dan Q :

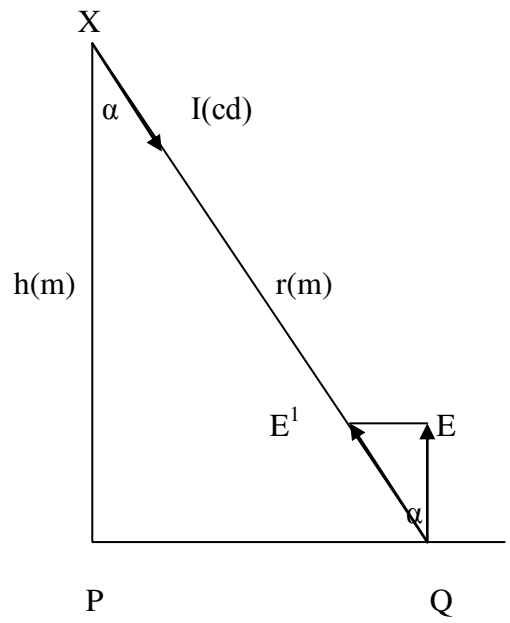


Kuat Penerangan pada titik P (E_p) : $E_p = \frac{I}{h^2}$

Kuat Penerangan pada titik Q (E_Q): $E_Q = \frac{I}{h} \sin \alpha$

$$E_Q = \frac{I}{h^2 + I^2} \text{uo}$$

tinjauan lainya dengn membuat acuan sudut seperti pada skema berikut ini:



E^1 adalah kuat penerangan pada bidang yang tegak lurus PQ, sesuai dengan hukum kuadrat terbalik, $E^1 = \frac{1}{r^2}$

Kuat penerangan pada bidang horizontal (melalui garis PQ) adalah E:

$E=E^1 \cos \alpha$

Sehingga $E = \frac{1}{r^2} \cos \alpha$ lx .....(2.6)

(Hk. Cosinus)

$\text{Cos } \alpha = \frac{h}{r}$ atau $\frac{i}{r} = \frac{\cos \alpha}{h}$

Subtitusi pada persamaan (2.7) di dapat

$E = \frac{1}{h^2} \cos \alpha$ lx.....(2.7)

Terdapat beberapa satuan yang diunakan , karena itu perlu diperhatikan:

$$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$$

= 1 lm/(3,28 ft) ^{2}

= 1/ 10,765 ft.cd

Jadi: 1 ft.cd = 10,76 lx

Jika suatu titik sumber cahaya 1 kandela diletakan pada pusat suatu bola dengan jari-jari 1m, maka kuat penerangan pada kulit bola adalah:

E= $\frac{4\ \pi\ 1}{4\ \pi\ 3{,}28^2} = 1\ lx$ .....(2.8)

Satuan lux dapat disebut pula kandela meter (cd.m) satuan kuat penerangan lainnya adalah phot.

Phot = $\frac{lumen}{Cm^2} = 10000\ \ lx$ ..... (2.9)

Tabel 2.2 Kuat Penerangan Beberapa Sumber Cahaya

Sumber cahaya	**E (lx)**
Siang hari yang cerah di tempat terbuka	100.000
Siang hari yang cerah di dalam ruang dekat jendela	2500
Selama matahari terbit	500
Penerangn jalan raya	5-30
Terang bulan pada malam yang cerah	0.25

2.2.4 Luminasi

Luminasi (L) merupakan besaran penerangan yang kaitannya erat dengan kuat penerangan (E). Luminasi adalah pernyataan kuantitatif jumlah cahaya yang dipantulkan oleh permukaan pada suatu arah. Luminasi suatu permukaan di

tentukan oleh kuat penerangan dan kemampuan memantulkan cahaya oleh permukaan. Kemampuan memnatulakan cahaya oleh permukaan disebut faktor refleksi atau reflektasi (δ).

Lumminasi didefinisikan sebagai intensitas cahaya dibagi dengan luas permukaan semu (As) bidang mendapatkan cahaya (cd/m^2).

$$L = \frac{I}{As} \quad \text{.....(2.10)}^6$$

Pengertian luminasi dapat dijelaskan sebagai berikut: jika terdapat buku yang terbuka di atas meja arus cahaya yang sampai pada buku maupun meja adalah sama demikian pula kuat penerangannya. Namun Luminasi (cahaya yang di tangkap mata) untuk lebih besar dari pada luminas mej karena reflektasi buku lebih besar di bandng reflektasi meja.

Disamping luas dan intensitas cahaya(I) iluminasi dipengaruhi pula reflektasi (p) objek yang mendapat cahaya. Satuan lain dari luminasi adalh kandela per centi meter persegi (stilb) dan kandela per *feet* persegi (lambert).

Pada permukaan yang memantulkan chaya secara sempurna intensitas cahaya (I) tidak diketahui tetapi lazimnya yang diketahui adalah kuat penerangan (E) pada permukaan.

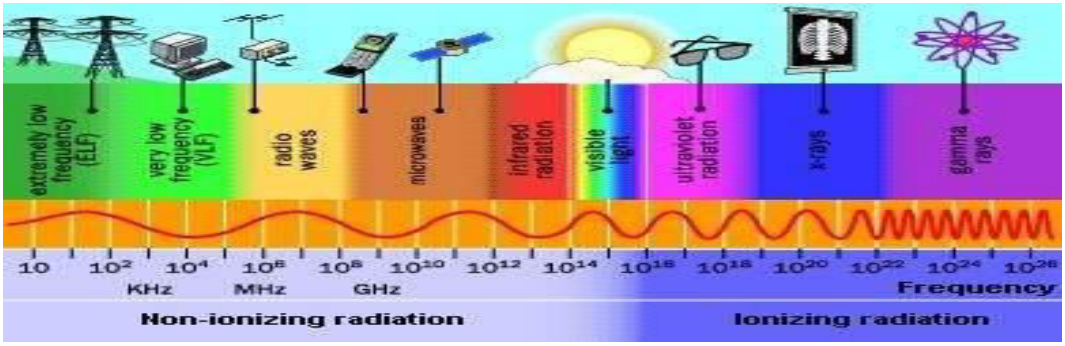
[6] Muhaimin, Teknologi Pencahayaan, hal 12.

Tabel 2.3 Luminasi Beberapa Permukaan

Permukaan	Luminasi (cd/m^2)
Permukaan matahari	1.650.000.000
Filamen lampu pijar bening	7.000.000
Lampu flourence	5000-15.000
Permukaan bulan purnama	2500
Kertas putih reflektansi 0,8 dibawah 400 lx	15.000
Kertas hitam reflektansi 0,04 di bawah 400 lx	5

2.3 Cahaya

IES mendefinisikan cahaya sebgau pancaran energi yang dapat dievakuasi secara visual. Secara sederhana, cahaya adalah bentuk energi yang memungkinkan makhuk hidup mengenali sekelilingnya dengan mata. Jika cahaya merupakan bagian gelombang elektro magnetik, kedudukan cahaya pada spektrum gelombang dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.1 Spektrum Cahaya
www.annucigema.blogspot.co.id/2013_06_01_archive.html?m=1

Hubungan kecepatan cahaya (v) dalam km/dt, dengan panjang gelombang (λ) dalam m, dan frekuensi (f) dalam Hz adalah:

$V = \lambda \cdot f$ ..... (2.11)[7]

Kecepatan cahaya pada udara atau hampa udara adalah 3.10^5 km/dt

Adapun sumber-sumber cahaya dapat diklasifisikan sebagai berikut:

1. Sumber Cahaya Buatan
   a. Lampu pijar
   b. Flourense (lampu TL)
   c. Lampu natrium
   d. Lampu merkuri tekanan tinggi
   e. Sumber cahaya elektroluminescent

Adapun fungsi dari penerangan buatan adalah:

Fungsi pokok penerangan buatan di dalam gedung baik diterapkan secara tersendiri maupun dalam kombinasi dengan penerangan alami siang hari, adalah:

- Menciptakan lingkungan yang memungkinkan penghuni-penghuni melihat detail-detail dari tugas dan kegiatan visuil secara mudah dan tepat.
- Memungkinkan penghuninya berjalan dan bergerak secara mudah dan aman.
- Menciptakan lingkungan visuil yang nyaman.

2. Sumber Cahaya Alami
   a. Cahaya matahari
   b. Cahaya bulan

2.4. Ballast[8]

Sebuah peralatan tambahan yang digunakan pada jenis lampu berflorensi atau lainya, dengan rangkaian kombinasi untuk menyediakan karakteristik

[7] Muhaimin, Teknologi Pencahayaan, hal 3.
[8] Hazairin Samaulah, Teknik Instalasi Tenaga Listrik, hal 96.

operasi. Ini digunakan untuk membatasi arus pada lampu atau mengubah tegangan masukan untuk lampu yang dicatutnya.

2.5 Lampu[9]

Lampu listrik mulai digunakan sekitar tahun 1870, yaitu lampu busur yang menggunakan karbon sebgai elektrodanya. Pada tahun 1877 pertama kalinya digunakan lampu pijar oleh Thomas Alfa Edison. Hingga perkembangan terakhir lampu listrik di kategorikan menjadi 3 yaitu : lampu pijar, lampu pelepasan gas, dan electroluminescent.

Tergolong lampu pijar adalah dengan filament karbon, lampu Wolfram biasa, lampu halogen, dan lampu photo flash. Sedangkan lampu tabung(TL), lampu merkuri tekanan tinggi, lampu natrium tekanan rendah (SOX), lampu natrium tekanan tinggi (SON) dan lampu metal halida tergolong lampu pelepasan gas. Contoh electroluminescent: tabung televisi, LED (light emiting diode), laser (light amplification stimulated emission of radiation), monitor laptop.

2.5.1 Lampu Pijar

Lapu pijar tergolong lampu listrik generrasi awal yang masih digunakan hingga saat ini. Filamen lampu pijar trbuat dari tungsten(Wolfram), bola lampunya diisi gas . bentuk standar dari lampu pijar pada gambar di bawah, sedangkan modifikasi material maupun pewarnaan gelasnya kini makin bervriasi.

Prinsip kerja lampu pijar adlah sangat sederhana. Ketika ada arus listrik mengalir melalui filamen yang mempunyai resistivitas tinggi sehingga menyebabkan kerugian tegangan selanjutnya menyebabkan kurugian daya yang menyebabkan panas pada filamen sehingga filamen berpijar.

Untuk alasan kekompakan bentuk dan konservasi panas dibuat beberapa konstruksi flamen berupa lilitan, atau lilitan yang dililit. Bola lampu pijar dibuat hampa udara atau berisi gas mulia.

[9] Muhaimin, Teknologi Pencahayaan, hal 43.

Daya yang didesipasikan (p_d) oleh filamen lampu pijar di pengaruhi tegangan kerja (V) dan resistansi filamen pada kondisi panas (R) sesuai dengan persamaan 2.12

$$P_d = \frac{V^2}{R} \quad \text{.....(2.12)}$$

Temperatur kerja filamen yang berpijar dapat mencapai 2500 hingga 3000^0 C dan yang dijadikan acuan perhitunga adalah resistansi filamen pada kondisi panas. Resistansi filamen pada kondisi panas bisa mencapai 15 kali resistansi pada kondisi dingin. Panjang dan diameter filamen menentukan resistansi maupun luas permukaan kuit filamen. Konveksi dan radiasi yang terjadi di dalam bola lampu juga ditentukan oleh semacam gas pengisi serta pendinginan filamen yang dipengaruhi oleh luas permukaan kulit filamen.

Lampu pijar yang warna sinar nya putih, bagian dalam bola lampu dilapisi dengan silika oksidda (SiO_2) atau seng sulfida (ZnS). Sedangkan untuk mendapatkan warna lain dapat diperoleh dengan pelapisan bagian dalam bola lampu dengan berbagai cara, antara lain:

1. Teknik ini disebut frosting, yaitu pelapisan dengan membilas bagian dalam bola lampu menggunakan asam hidrofluoriksehingga menghasilkan lapisan tipis pada gelas(gelas seperti itu lazim disebut: gelas baur/ gelas es) yang kemampuan menyebarkan sinar tidak bagus.
2. Melapisi bagian dalam bola lampu denga serbuk halus silika atau titanium ioksid sehingga diperoleh difusi yang lebih baik(disebut opalising). Cara ini dilakukan pada lampu pijar jenis argenta.
3. Pewarnaan bagian dalam bola lampu menggunakan cara frosting atau oplisting menggunakan teknik elektrostatis, yaitu melapisi bagian dalam bola dengan cara penguapan warna pigmen pada keadaan hampa. Pewarnaan yang bersift fisis dapat pula menggunakan bahan semacam vernis.

4. Untuk reflektor dilakukan pelapisan gelas dengan uap alumunium atau paduan tembaga alumunium pada kondisi hampa udara.

Untuk mencegah terjadinya oksidasi pada temperatur tinggi pada perkembangan awalnya dibuat boal lampu hampa udara. Namun evarorasi filamen pada temparatur tinggi menyebabkan bagian dalam lampu berwarna hitam.kondisi ini tersebut mengurangi intensitas cahaya sekaligus umur lampu.

Berdasarkan penelitian langmiir pada tahun 1913, evaporasi filamen dapat dikurangi dengan cara mengisikan gas murni antara lain argon atau nitrogen ke dalam bola lampu. Keberadaan gas murni di dalam bola lampu dapat dioperasikan pada temperatur lebih tinggi. Kendalanya dengan pengiisan gas tersebut adalah timbulnya rugi panas yang makin besar karena adanya sirkulasi gas.

Contoh dari lampu pijar adalah lampu Halogen dan lampu Dingin.

1. Lampu Halogen

   Lampu halogen tergolong lampu piajr yang kedalam bola lampunya diisi dengan unsur halogen di antaranya Iodid. Evaporasi Wolfram pada lampu ini terjadi saat filamen berpijar. Selanjutnya evaporasi wolfram bereaksi dengan iodida di sekelilingnya dan terjadi reaksi bolak-balik.

   Dengan demikin atom W yang akan terlepas dari filamen kembali menyatu dengan filamen. Hal ini menyebabkan unsur filamen menjadi kira-kira 2x umur lampu biasa. Gelas bola lampu halogen digunakan jenis gelas keras yang mampu menahan temperatur hinga 250^0 C. Disamping itu dengan memakai gelas keras tersebut memungkinkan bola lampu diisi dengan gas dengan tekanan tinggi. Kesulitannya adalah memasukan Iodida ke dalam bola lampu karena Iodida korosif terhaadap pompa yang digunakan untuk mengisikannya.

   Ada 2 penyebab keluaran arus cahaya lampu pijar makin menurun bertambahnya waktu, yaitu: evaporasi pada filamen menyebabkan ada bagian filamen yang mengecil dan ini menyebabkan resistansi naik

sekaligus mereduksi arus mengalir, yang kedua terjadinya bagian filamen yang tidak ‘menempel” kembai ke filamen menyebabkan lapisan hitam pada bola lampu.

Penggunaan lampu halogen antara lain pada: mobil, lampu pada tambang, pabrik, aula olah raga, studio tv, tanah lapang, air mancur.

2. Lampu dingin

Salah satu perkembangan lampu filamen adalah pemakaian teknik gelas sinar dingin sinar inframerah yang dihasilkan filamen menimbulkan persoalan karena panas yang dipancarkan. Pans ini dapat direduksi dengan

menggunakan gelas sinar dingin untuk bahan bola lampu. Gelas sinar dingin dapat mengurangi panas yang di pancarkan filamen hingga 80%.

Lapisan yang menyebabkan gelas sinar dingin mapu mereduksi panas adalah seng sulfida dan magnesium flourida atau silika dioksida yang dibuat lapian berselang-seling (terdiri dari 2 macam bahan yang berbeda bisa mencapai 20 lapis). Gelas semacam ini di sebut gelas dichroic.

2.5.2 Lampu Fluoresen

Lampu flouresen (TL= Tubelair lamp) termasuk lampu merkuri tekanan rendah (0,4 Pa) yang dilengkapi dengan flouresen. Cahya yang di pancarkan dari dalam lampu adalah ultraviolet(termassuk sinar tak tampak). Untuk itu bagian dalam tabung lampu dilapisi bahan flouresen yang fungsinya mengubah ultraviolet menjadi sinar tampak. Di samping itu pada bahan flouresen ditambah senyawa lain yang di sebut aktivator.

Di dalam tabung lampu flouresen terdapat merkuri dan gas inert (argon atau kripton). Fungsi gas inert adalah memperpanjang umur elektroda karena keberadaan gas tersebut dapat mengurangi evaporasi, pengendali kecepatan lintasan elektron bebas sehingga lebih memungkinkan terjadinya ionisasi merkuri, dan mempermudah lewatnya arus didalam tabung khususnya pada temperatur rendah.

Pada awal kerja, arus mengalir melalui dan memanaskan elektroda (kalau sumber dc adalah katoda dan anoda) sehingga mengemisikan elektron bebas. Disamping melalui elketroda, arus juga melalui balast dan starter. Feenomena resistansi pada pelepasan gas adlah negatif. Berarti jika arus lampu bertambah tegangan lampu berkurang. Untuk itu perlu perangkat pembatas arus yang dipasangai seri dengan TL. Perangkat terebut bisa berupa resistor (pada sumber dc), balast elektris atau elektronik. Kemampuan arus mengalir melalui tabung dikarenakan balast menghasilkan tegangan induksi yang tinggi. Namun tegangan induksi yang tinggi ini akan kembali normal ketika arus sudah mengalir melalui tabung. Sesaat setelah waktu kerja awal starter (yang berupa bimetal) memutuskan rangkaian. Tegangan kembali normal dan lampu menyala normal. Efekesi lampu flouresen umumnya 3 hinga 4 kali lampu pijar.

Tabel 2.4 Karakteristik Beberapa Flouresen

Senyawa	Aktifator	Panjang gelombang puncak (nm)	Nama komersial
Strontium Aluminat	Cerium	307	SAC
Gadolinium lantanium bismutborat	-	312	GLBB
Barium disilikat	Timah hitam	349	BSP
Strontium barium magnesium slikat	Timah hitam	365	SMS
Strontium tetra borat	Europium	368	SBE
Kalsium wolfram	-	410	-
Seng silikat	Mangan	525	Willemit
Kalsium holofosfat	Antimon dan mangan	579-585	Apatit
Yttrium oksida	Europium	610	YOX

2.5.3 Lampu Natrium

Lampu natrium (sodium) dibedakan berdasarkan tekanan gas di dalam tabun pelepasannya menjadi 2 yaitu: lampu Natrium tekanan rendah (SOX) dan lampu natrium tekanan tinggi (SON). Penampilan terbaik lampu natrium tekanan rendah jika tabung pelepasannya dipertahanan pada temperatus 300^0C. Karena

bekerja pada temperatur tinggi, maka agar tahan terhadap panas maka tabung U tersebut dibuat dari gelas ganda (bahan masing-masing produsen mungkin beda).

Pada saat kerja awal selama 5 hingga 10 menit untuk SOX dan 5 hingga 7 menit untuk Son warna cahaya yang dihasilkan merah muda dan kemudian setelah natrium menguap semua warna cahaya yang dihasilkan kuning. Cara pemasangan lampu natrium agak miring keatas dengan maksud agar pada kondisi dingin natrium terkumpul dan lebih dekat dengan elektroda sehingga pada proses penyalaan natrium terebut lebih awal terpanasi. Umur lampu natrium rata-rata 2500 jam dan efikesinya 40-hingga 50lm/W.

Terdapat rangkaian SOX dengan watt konstan baik selama beroprasi normal maupun pada waktu kerja awal. Manfaat SOX dengan rangkaian watt konstan antara lain:

1. Efikesi sistem lebih tinggi
2. Kedipan dapat direduksi
3. Variasi tegangan pengaruhnya kecil
4. Kapasitor yang di pasang seri berfungsi untuk melindungi terjadinya efek penearah pada akhir pemakaian lampu.

Tabel 2.5 Perbandingan Antara SOX dan SON

Karakteristik	SOX-E	SON-T
Daya lampu (W)	130	250
Arus cahaya (lm)	26.000	27.000
Temperatur dinding tabung pelepasan (K)	530	1500
Tekanan gas selama beroprasi (Pa)		
Na Hg Gas Mulia Xe,Ne/Ag	0,7 - 730	10.000 80.000 20.000
Aus lampu (A)	0,62	3
Tegangan lampu (V)	245	100
Efisiensi visual radiasi yang bisa dilihat (pada panjang gelombang 5000 nm) (%)	77	57
Efikesi (lm/W)	200	108
Indek rendering warna	44	23
Bahan tabung	Gelas *ply*	Polikristalin alumina

Lampu SON tabung pelepasannya diisi beberapa puluh miligram Merkuri Natrium Amalgam (cair) yang sebagian menjadi gas pada temperatur kerja. Sedangkan kandungan amalgramny sendiri 20%. Tekanan gas natrium dan merkuri yang diisikan ke dalam tabung pelepasan masing-masing 10-80 Kpa.

Merkuri merupakan gas yang berfungsi menstabilkan busur. Untuk memperbaiki efikasi dimasukan pula xenon. Keberadaan xenon menyebabkan tegangan penyalaan bertambah sehingga diperlukan perangkat tambahan untuk start. Disamping itu campuran gas neon dan argon digunakan sebgai gas penyalaan awal diisikan sekitar lilitan penyalaan yang dipasang pada tabung pelepasan. Disamping konstruksi standar, terdpat lampu SON spesial yaitu lampu SON yang mempunyai pangkal ganda, lampu reflektor, lampu Son busur ganda demikian pula modifikasi bola lampu maupun komponen lainya.

2.5.4 Lampu Metal Halida

Untuk memperbaiki warna lamppu merkuri dilakukan dengan menambahakan unsur metal (yang lazim: Hg, Sn, Cd) ke dalam tabung pelepasan. Penambahan unsur metal bermanfaat menurunkkan temperatur di dalam tabung pelepasan. Namun keberadaan metal dapat merusak squartz (bahan tabung) dan elektroda. Untuk mengatasinya kelemahan tersebuh dibuat senyawa metal halida. Metal halida adalah metal yang disenyawakan denga halogen yaitu unsur : F, Cl, Br, dan I. Pada temperatur tinggi kurang lebih 3000 K terjadi reaksi kesetimbangan seperti pada lampu haloen.

Maanfaatnya, metal halida tidak agresif terhadap dinding tabung, ion halogen terdapat dibagian tengah tabung, ion logam berfungsi memancarkan radiasi. Lampu metal halida dikategorikan menjadi 3, yaitu: lampu tiga warna, lampu spektrum multi garis, lampu molekular menghasilkan spektrum kuasi.

Penyalaan pada lampu pada metal halida agak berbeda denga lampu merkuri tekanan tinggi karena adanya aktifitas kimia gas pengisinya, karena itu untuk memudahkan penyalaan awal di dalam gas di tambahkan gas mulia neon dan argon ata kripton dan argon. Penyalaan awal lampu metal halida memerluka waktu 2 menit. Posisi pemasangan lampu metal halida menentukan umur pemakaian (umur nominal 12.000 jam) dan fluktuasi warna. Karena itu posisi pemasangan lampu metal halida harus memperhatikan petunjuk produsen(bervariasi). Efikasi lampu berkisar antara 75lm/W hingga 95lm/W

tergantung besarnya daya lampu. Seperti lampu pelepasan gas lainnya penyalaan kemali lampu metal halida diupayakan pada kondisi dingin yaitu setelah padam 5 hingga 20 menit.

2.5.5 Sumber Cahaya Elektroluminescent

Elektroluminescent dapat didefinisikan sebgai emisi cahaya hasil dari eksitasi di dalam suatu padatan. Efek tersebut dapat diperoleh dengan menggunakan medan listrik pada bahan kristalin yang mempunyai sifat pemendaraan khusus dan dapat di kontrol. Hingga saat ini terdapat 2 sumber cahaya elektroluminescent yaitu *light emiting diode* (LED) dan panel *elektroluminescent.*

LED adalah bahan semikonduktor yang mengeluaarkan cahaya ketika arus listrik melaluinya, sebagaimana dioda lainya LED terdiri dari pasangan bahan semikonduktor P dan N.

Tabel 2.6 Karakteristik LED

Bahan Semi konduktor	Warna	Panjang gelombang puncak (nm)	Efikasi maksimum (lm/W)
Ga P/ Zn O	Merah	699	3
Ga As O/ 6PO4	Merah	649	0,4
GaAs), 35PO, 65/N	Oranye	632	1
Ga P N	Kuning	590	0,45
G AsO, 12PO, 88/N	Kuning	580	1
GaP/N	Hijau	570	4

Penggunaan LED antara lain untuk: tesk atau gambar yang “bergerak” yang disebut displai penomoran alpha (terdiri dari 35 titik), penomoran 7 segmen (untuk displai nomor digital).

Panel *elektroscent* adalah sumber cahaya datar yang cahayanya merupakan emisi bahan0bahan dielektrik sehingga sumber cahaya ini dapat pula dikatakan sebgai *light-emiting capasitor.* Dasar pemikiranya, serbuk flouresen dapat diaktifkan oleh medan listrik baik yan disebabkan oleh arus searah mapun arus bolak balik..

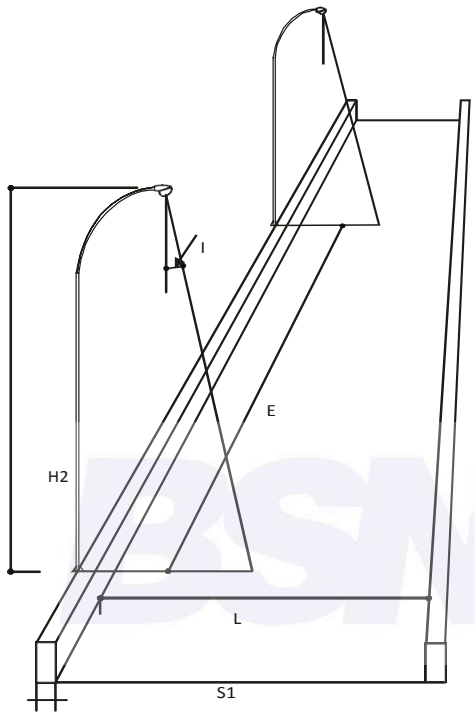
2.6 Penempatan Lampu Penerangan

1) Penempatan lampu penerangan jalan harus direncanakan sedemikian rupa sehingga dapat memberikan :
   a) Kemerataan pencahayaan yang sesuai dengan ketentuan Tabel 6 dan 7;
   b) Keselamatan dan keamanan bagi pengguna jalan;
   c) Pencahayaan yang lebih tinggi di area tikungan atau persimpangan, dibanding pada bagian jalan yang lurus;
   d) Arah dan petunjuk (*guide*) yang jelas bagi pengguna jalan dan pejalan kaki.
2) Sistem penempatan lampu penerangan jalan yang disarankan seperti pada Tabel 8.
3) Pada sistem penempatan parsial, lampu penerangan jalan harus memberikan adaptasi yang baik bagi penglihatan pengendara, sehingga efek kesilauan dan ketidaknyamanan penglihatan dapat dikurangi.

Tabel 2.7 Sistem Penempatan Lampu Penerangan Jalan

Jenis jalan / jembatan	**Sistem penempatan lampu yang digunakan**
- Jalan arteri	sistem menerus dan parsial.
- Jalan kolektor	sistem menerus dan parsial.
- Jalan local	sistem menerus dan parsial.
- Persimpangan, simpang susun, *ramp*	sistem menerus.
- Jembatan	sistem menerus.
- Terowongan	sistem menerus bergradasi pada ujung-ujung terowongan.

4) Perencanaan dan penempatan lampu penerangan jalan dapat dilihat pada Gambar dibawah ini.



Gambar 2.2 Penempatan lampu Penerangan

Keterangan : H = tinggi tiang lampu
L = lebar badan jalan, termasuk median jika ada
E = jarak interval antar tiang lampu

S1 + S2 = proyeksi kerucut cahaya lampu
S1 = jarak tiang lampu ke tepi kereb
S2 = jarak dari tepi kereb ke titik penyinaran terjauh
I = sudut inklinasi pencahayaan

5) Batasan penempatan lampu penerangan jalan tergantung dari tipe lampu, tinggi lampu, lebar jalan dan tingkat kemerataan pencahayaan dari lampu yang akan digunakan. Jarak antar lampu penerangan secara umum dapat mengikuti batasan seperti pada Tabel 9 (*A Manual of Road Lighting in Developing Countries*). Dalam tabel tersebut dipisahkan antara dua tipe rumah lampu. Rumah lampu (*lantern*) tipe A mempunyai penyebaran sorotan cahaya/sinar lebih luas, tipe ini adalah jenis lampu gas sodium bertekanan rendah, sedangkan tipe B mempunyai sorotan cahaya lebih ringan/kecil, terutama yang langsung ke jalan, yaitu jenis lampu gas merkuri atau sodium bertekanan tinggi.

Tabel 2.8 Jarak antar tiang lampu penerangan (e) berdasarkan tipikal distribusi pencahayaan dan klasifikasi lampu

1. Rumah lampu tipe A

Jenis lampu	Tinggi lampu (m)	Lebar jalan (m)								Tingkat pencahayaan
		4	5	6	7	8	9	10	11	
35W SOX	4	32	32	32	-	-	-	-	-	3,5 LUX
	5	35	35	35	35	35	34	32	-	
	6	42	40	38	36	33	31	30	29	
55W SOX	6	42	40	38	36	33	32	30	28	6,0 LUX
90W SOX	8	60	60	58	55	52	50	48	46	
90W SOX	8	36	35	35	33	31	30	29	28	10,0 LUX
135W SOX	10	46	45	45	44	43	41	40	39	
135W SOX	10	-	-	25	24	23	22	21	20	20,0 LUX
180W SOX	10	-	-	37	36	35	33	32	31	
180W SOX	10	-	-	-	-	22	21	20	20	30,0 LUX

2. Rumah lampu tipe B

Jenis lampu	Tinggi lampu (m)	Lebar jalan (m)								Tingkat pencahayaan
		4	5	6	7	8	9	10	11	
50W SON atau 80W MBF/U	4	31	30	29	28	26	-	-	-	3,5 LUX
	5	33	32	32	31	30	29	28	27	
70W SON atau 125WMBF/U	6	48	47	46	44	43	41	39	37	
70W SON atau 125WMBF/U	6	34	33	32	31	30	28	26	24	6,0 LUX
100W SON	6	48	47	45	42	40	38	36	34	
150W SON atau 250W MBF/U	8	-	-	48	47	45	43	41	39	10 LUX
100W SON	6	-	-	28	26	23	-	-	-	
250W SON atau 400W MBF/U	10	-	-	-	-	55	53	50	47	
250W SON atau 400W MBF/U	10	-	-	36	35	33	32	30	28	20 LUX
400W SON	12	-	-	-	-	39	38	37	36	30 LUX

Keterangan : - Jarak antar tiang lampu dalam meter.

- Rumah lampu (*lantern*) tipe A mempunyai penyebaran sorotan cahaya/sinar lebih luas.
- Rumah lampu (*lantern*) tipe B mempunyai penyebaran sorotan cahaya lebih ringan/ kecil, terutama yang langsung ke jalan.

2.7 Penataan Letak Lampu Penerangan Jalan

Penataan/pengaturan letak lampu penerangan jalan diatur seperti pada tabel 2.8. Di daerah-daerah atau kondisi dimana median sangat lebar (> 10 meter) atau pada jalan dimana jumlah lajur sangat banyak (> 4 lajur setiap arah) perlu dipertimbangkan dengan pemilihan penempatan lampu penerangan jalan kombinasi dari cara-cara tersebut di atas dan pada kondisi seperti ini, pemilihan penempatan lampu penerangan jalan direncanakan sendiri-sendiri untuk setiap arah lalu-lintas.

Tabel 2 .8 Penataan Letak Lampu Penerangan jalan

Tempat	Penataan / pengaturan letak
Jalan satu arah	- di kiri atau kanan jalan; - di kiri dan kanan jalan berselang-seling; - di kiri dan kanan jalan berhadapan; - di bagian tengah / separator jalan.
Jalan dua arah	- di bagian tengah / median jalan; - kombinasi antara di kiri dan kanan berhadapan dengan di bagian tengah / median jalan; - katenasi (di bagian tengah jalan dg sistem digantung)
Persimpangan	- dapat dilakukan dengan menggunakan lampu menara dengan beberapa lampu, umumnya ditempatkan di pulau-pulau, di median jalan, diluar daerah persimpangan (dalam RUMIJA ataupun dalam RUWASJA)

2.8 Penataan Lampu Penerangan Terhadap Tanaman Jalan

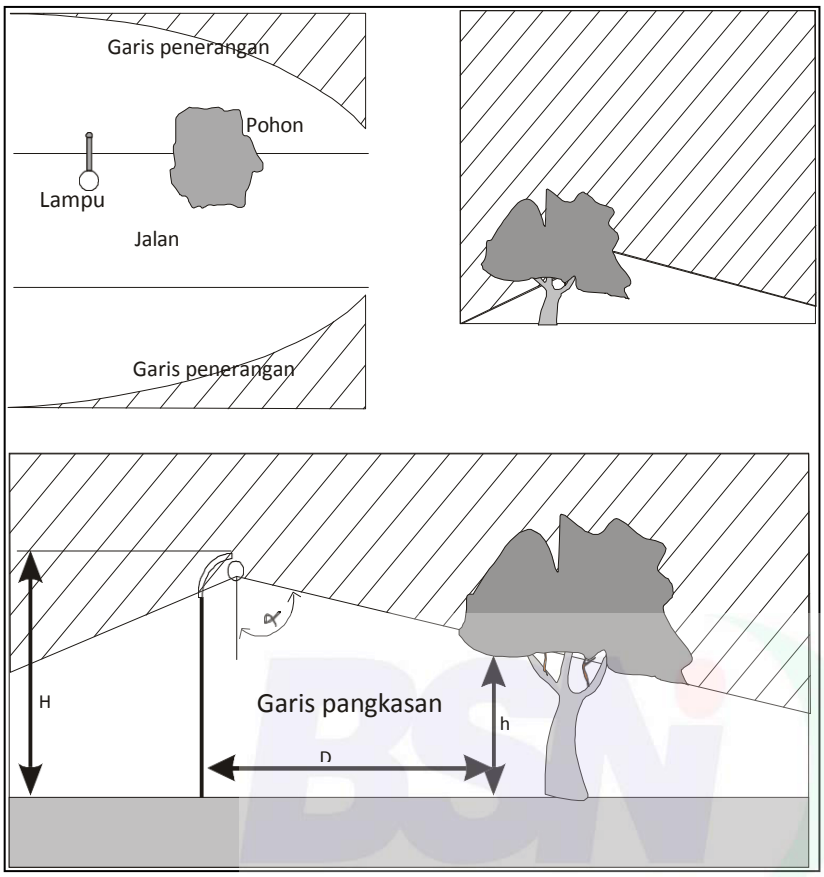
Dalam penempatan lampu penerangan jalan harus dipertimbangkan terhadap tanaman jalan akan ditanam maupun yang telah ada, sehingga perlu adanya pemangkasan pohon dengan batasan seperti pada Gambar 8 dan Tabel 11.

Tabel 2.9 Tinggi Pemangkasan Pohon Terhadap Sudut di Bawah Cahaya Lampu

Garis pemangkasan pada sudut α di bawah cahaya lampu	Tinggi pemangkasan pohon (h)
70°	H – 0.36 D
75°	H – 0.26 D
80°	H – 0.17 D

Keterangan : H = tinggi tiang lampu *(mounting height)* dalam meter

D = jarak tiang lampu ke proyeksi jarak terendah tanaman dengan tanah



Gambar 2.3 Penetapan Lampu Penerangan Terhadap Tanaman Jalan

2.9 Pemasangan Rumah Lampu Penerangan

1. Pemasangan Tanpa Tiang

   Pemasangan rumah lampu tanpa tiang adalah lampu yang diletakkan pada dinding ataupun langit-langit suatu konstruksi, seperti di bawah konstruksi jembatan, di bawah konstruksi jalan layang atau di dinding maupun langit-langit terowongan, dll.

2. Pemasangan dengan tiang

- Tiang lampu dengan lengan tunggal;

  Tiang lampu ini pada umumnya diletakkan pada sisi kiri atau kanan jalan. Tipikal bentuk dan struktur tiang lampu dengan lengan tunggal seperti diilustrasikan pada Gambar

- Tiang lampu dengan lengan ganda

Tiang lampu ini khusus diletakkan di bagian tengah/median jalan, dengan catatan jika kondisi jalan yang akan diterangi masih mampu dilayani oleh satu tiang. Tipikal bentuk dan struktur tiang lampu dengan lengan ganda seperti diilustrasikan pada Gambar

- Tiang lampu tegak tanpa lengan

  Tiang lampu ini terutama diperlukan untuk menopang lampu menara, yang pada umumnya ditempatkan di persimpangan-persimpangan jalan ataupun tempat-tempat yang luas seperti *interchange*, tempat parkir, dll. Jenis tiang lampu ini sangat tinggi, sehingga sistem penggantian/perbaikan lampu dilakukan di bawah dengan menurunkan dan menaikkan kembali lampu tersebut menggunakan *suspension cable*

2.10 Kualitas Pencahayaan Pada Ruas Jalan

Kualitas pencahayaan pada suatu jalan diukur berdasarkan metoda iluminansi atau luminansi. Meskipun demikian lebih mudah menggunakan metoda iluminansi, karena dapat diukur langsung di permukaan jalan dengan menggunakan alat pengukur kuat cahaya. Kualitas pencahayaan normal menurut jenis/klasifikasi fungsi jalan ditentukan seperti pada Tabel.

Tabel 2.10 Kualitas Pencahayaan Normal

Jenis/ klasifikasi jalan	Kuat pencahayaan (Iluminansi)		Luminansi			Batasan silau	
	E rata-rata *(lux)*	Kemerataan *(Uniformity)*	L rata-rata (cd/m2)	Kemerataan *(uniformity)*		G	TJ (%)
		g1		VD	VI		
Trotoar	1 - 4	0,10	0,10	0,40	0,50	4	20
Jalan lokal : - Primer - Sekunder	2 - 5 2 - 5	0,10 0,10	0,50 0,50	0,40 0,40	0,50 0,50	4 4	20 20
Jalan kolektor : - Primer - Sekunder	3 - 7 3 - 7	0,14 0,14	1,00 1,00	0,40 0,40	0,50 0,50	4 - 5 4 – 5	20 20
Jalan arteri : - Primer - Sekunder	11 - 20 11 - 20	0,14 - 0,20 0,14 - 0,20	1,50 1,50	0,40 0,40	0,50 - 0,70 0,50 - 0,70	5 - 6 5 – 6	10 - 20 10 – 20
Jalan arteri dengan akses kontrol, jalan bebas	15 - 20	0,14 - 0,20	1,50	0,40	0,50 - 0,70	5 – 6	10 – 20
Jalan layang, simpang susun, terowongan	20 - 25	0,20	2,00	0,40	0,70	6	10

Keterangan :
g1 : E min/E maks
VD : L min/L maks
VI : L min/L rata-rata
G : Silau (*glare*)
TJ : Batas ambang kesilauan

2.11 Jalan

prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas

yang berada pada permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, kecuali jalan kereta api, jalan lori dan jalan kabel.
[Undang-Undang RI No. 38 Tahun 2004]
Adapun beberapa jenis jalan adalah sebgai berikut:

1. jalan arteri

   jalan umum yang berfungsi melayani angkutan utama dengan ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara berdaya guna.
   [Undang-Undang RI No. 38 Tahun 2004]

2. jalan kolektor

   jalan umum yang berfungsi melayani angkutan pengumpul atau pembagi dengan ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang, dan jumlah jalan masuk dibatasi.

3. lajur

   bagian jalur yang memanjang, dengan atau tanpa marka jalan, yang memiliki lebar cukup untuk satu kendaraan bermotor sedang berjalan, selain sepeda motor.
   [PP RI No. 43 Tahun 1993]

2.12 Perhitungan Sistem Penerangan Lampu Jalan

Untuk mendapatkan sistem penerangan yang memadai tentunya diperlukan tata cara perhitungn sehingga didapatkan hasil yang sesuai dengan tingkat kebutuhan yang diinginkan. Adapun perhitungan adalah sebagai berikut:

2.12.1 Metode Point by Point

Metode ini digunakan untuk mencari penerangan pada suatu titik permukaan tertentu yang akan diterangi dengan memperhitungkan efek-efek disekitarnya seperti refleksi dari permukaan jalan. Metode ini dapat dipakai untuk mencari penerangan jalan maupun undtuk didalam ruangan, metode ini jarang digunakan karena sulit untuk mendapatkan data-data spesifikasi dari lampu-lampu yang digunakan. Metode ini sesuai dengan hkum kebalikan kuadrat dimana terang

yang dihasilkan pada suatu permukaan oleh suatu intensitas sumber berbanding terbalik dengan kuadratnya. Pada metode ini karakteristik pengukuran nya di tentukan oleh faktor-faktor yaitu tinggi sumber cahaya, jarak antar tiang, lebar jalan, jarak antar sisi tiang dengan titik lampu, jarak antara titik lampu ke jalan, dan sudut inklinasi dari pencahayaan.

2.12.2 Iluminasi Rata-Rata

Prosedur perhitungan dengan metode Iluminasi rata-rata adalah sebagai berikut:

- Tentukan harga intensitas penerangan (E) dengan menggunakan klasifikasi kepadatan laulintas yang direkomendasikan oleh ANSI-IES yang sesuai dengan klasifikasi jalan raya dan daerah yang bersangkutan.
- Tentukan tipe armature yang akan dipakai dalam hal ini untuk penerangan jalan.
- Tentukan tipe lampu yang akan dipakai sesuai dengan tipe armature. Pemilihan tipe lampu berdasarkan atas: umur lampu, efisiensi, harga dan keindahan.
- Tentukan besar lumen lampu dari tiap luminare. Umumnya besar lumen lampu disesuaikan dengan kondisi jalan.
- Tentukan harga ketinggian berdasarkan: harga ketinggian tiang yang dianjurkan sesuai dengan besar lampu, ekonomis biaya yang dikeluarkan, berdasarkan kebiasaan atau standar tertentu.
- Tentukan harga factor pemeliharaan atau faktor defresiasi. Harga faktor pemeliharaan(fm) ditentukan berdasarkan hubungan sebgai berikut:

  Fm = LLDxLDD ..... (2.13)

  Dimana:

  LLD= lampu *lumen depreciation factor* yaitu faktor yang berdasarkan atas penyusutan lumen lampu akibat bertambahnya umur lampu

  LDD= *luminare direct depreciation factor* yaitu suatu faktor pengali yang didasarkan atas penyusutan lumen lampu akibat pengotoran luminare.

Faktor pemeliharaan terbagi atas tiga bagian yaitu :

1. Pengotoran ringan, berada di daerah yang hampir tidak berdebu.
2. Pengotoran berat, terjadi di ruang yang banyak debu atau pengotoran lainnya. Misalnya perusahaan cor, pertambangan, dll.
3. Pengotoran biasa terjadi perusahaan selain perusahaan diatas misalnya perusahaan rokok selain pengaruh pengotoran dalam faktor depresiasi telah juga di perhitungkan pengaruh umur lampu.

Menghitung harga rata-rata iluminasi untuk permukaan jalan raya yang sangat luas dlam bidang horizontal, foot candle dihitung dengan menggunakan *Utilization curve* dimana utilization curve dapat mewakili berbagai tipe luminasi dan digunakan menghitung harga rata-rata foot candle secara praktis untuk permukaan jalan dengan besar lampu, tinggi lampu, lebar jalan, jarak lampu ke lampu.

Dengan mengambil harga rata-rata jarak antara tiang lampu jalan maka di dapatkan harga R

$$R1 = \frac{W1}{(H/\cos\delta 2)} \quad \text{..... (2.14 a)}$$

$$R2 = \frac{W2}{(H/\cos\delta 2)} \quad \text{..... (2.14 b)}$$

Dimana:

W = lebar jalan

W1 = jarak titik lampu ke tiang

W2 = jarak titik lampu ke jalan

d = jarak antar penempatan lampu, pada perhitungan diambil jarak rata-rata

H = tinggi lampu terhadap jalan, harga h di pengaruhi sudut δ_2=22,5^0

R = harga yang digunakan untuk mengetahui faktor utilasi (UF)

Untuk mendapatkan harga rata-rata foot candle horizontal digunakan persamaan

$$E_{rata\text{-}rata} = \frac{\phi.U}{d.W}\ 0{,}0929 \quad \text{..... (2.15)}$$

Dimana:

E = harga iluminasi rata-rata (fc)

d = jarak antar lampu (m)

w = Lebar jalan (m)

U = *conficient of utilization factor*

ϕ = flux lampu (lumen)

persamaan diatas akan lebih lengkap apabila pengaruh *lost lumen factor* **Iif** dimasukan sehingga persamaan menjadi

$$E_{rata\text{-}rata} = \frac{\phi.U.IIf}{d.W}\ 0{,}0929 \quad \text{..... (2.16)}$$

Untuk harga **Iif** biasanya memperhitungkan harga 80% dari kondisi ketika lampu dalam keadaan baru.

$$\phi = UF \times \phi \text{ lampu} \quad \text{..... (2.17)}$$

dimana:

UF_{total} = *coefficient of utilization factor*

ϕ = fluks cahaya (lumen)

ϕ_{lampu} = fluks lampu (lumen)