

**ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS PENERAPAN PENERANGAN JALAN
UMUM *SOLAR CELL* UNTUK KEBUTUHAN PENERANGAN DI JALAN TOL
DARMO SURABAYA**

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

ENGGA KUSUMAYOGO

NIM. 0710633071 - 63

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2014

PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena hanya dengan rahmat, dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul ” Analisis Teknis Dan Ekonomis Penerapan Penerangan Jalan Umum *Solar Cell* Untuk Kebutuhan Penerangan Di Jalan Tol Darmo Surabaya ”. Skripsi tersebut disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik, di Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Alasan penulis memilih judul tersebut berdasarkan kebutuhan yang mendesak dalam pengembangan dan penghematan energi pada jalan Tol Darmo Surabaya untuk mengatasi krisis ekonomi Selain itu harga sumber energi konvensional akan terus semakin tinggi dan persediaannya juga terbatas, sedangkan harga *photovoltaic* berangsur-angsur akan turun karena bahan bakunya melimpah di bumi dan teknologi pengembangan semakin maju.

Banyak kendala yang dihadapi penulis dalam penyelesaian skripsi ini, baik kendala yang berasal dari diri pribadi penulis, maupun dari lingkungan sekitar. Kendala utama yang sering dihadapi adalah proses menjaga kemandirian dan ketekunan dalam pengerjaan dan penyusunan penelitian ini. Permasalahan tersebut dapat diatasi berkat bantuan dari pihak-pihak yang telah meluangkan waktu untuk membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, bimbingan serta dorongan dari semua pihak, penyelesaian skripsi ini tidak mungkin bisa terwujud. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

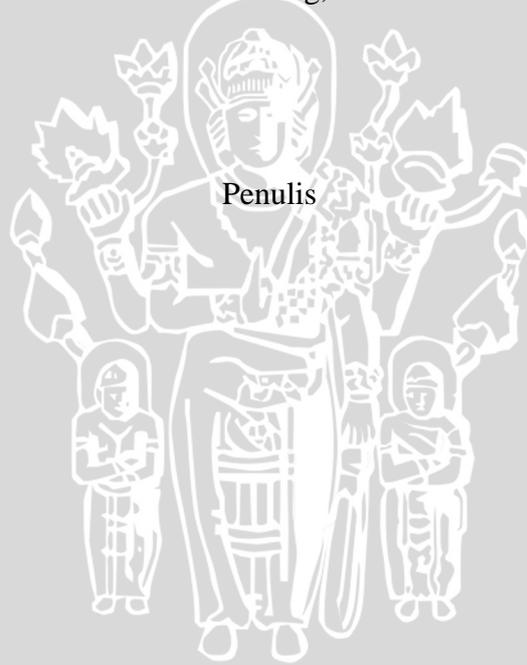
1. Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
2. Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya dan selaku dosen pembimbing skripsi.
3. Bapak Mochammad Rif’an, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
4. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc selaku KKDK Konsentrasi Teknik Energi Elektrik.
5. Bapak Unggul Wibawa, Ir., M.Sc dan Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D sebagai pembimbing skripsi yang telah membimbing dalam penulisan ini dan memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini serta atas segala bentuk bantuan dan saran yang membangun.
6. Bapak, Ibu dan Seluruh Keluarga yang tak henti berdoa dan selalu memberikan dorongan bagi penulis dalam menyelesaikan tulisan ini.

7. Bapak Edi dan Seluruh Keluarga yang selalu memberikan dorongan dan semangat agar tulisan ini terselesaikan.
8. Seluruh Staf Karyawan Teknik Elektro.
9. Ullin dwi fajri, mbak henny, mas jun, mbak frida, mas muktar dan teman - teman seperjuangan yang selalu memberi dukungan dan semangat agar tulisan ini terselesaikan.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penelitian ini dirasa masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik mengenai penelitian ini diharapkan oleh penulis. Saran dan kritik ditujukan agar penelitian ini dapat menjadi karya tulis yang lebih baik dan lebih berguna. Akhir kata, semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Juli 2014

Penulis

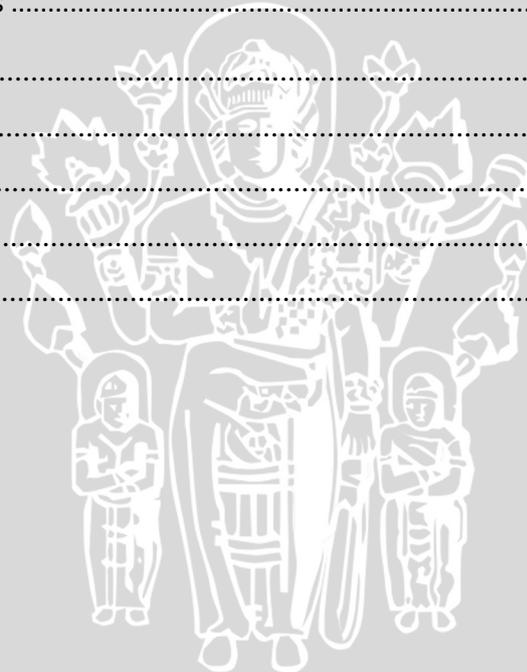


DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
RINGKASAN	vii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1.Latar Belakang	1
1.2.Rumusan Masalah	1
1.3.Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Sistematika Pembahasan	2
BAB II	3
TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Lampu Penerangan Jalan Umum	3
2.2 Jalan	14
2.3 Dasar Pencahayaan	16
2.4 Armatur dan Rumah lampu	21
2.5 Penghantar Listrik	22
2.6 Solar Cell	25
2.7 Aspek Ekonomis	27
BAB III	29
METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Kerangka Utama	29
3.2 Lokasi Penelitian	30
3.3 Studi Literatur	30
3.4 Pengambilan Data	30
3.5 Perhitungan dan Analisis Data	30



3.6 Pengambilan Kesimpulan dan Saran	31
BAB IV	32
PERHITUNGAN DAN ANALISIS	32
4.1 Gambaran Umum Jalan Tol Darmo Surabaya	32
4.2 Kondisi Eksisting	32
4.3 Perencanaan Penerangan Jalan Umum	33
4.4 Armaturnya dan Rumah Lampu	37
4.5 Perhitungan Daya Listrik	38
4.6 Arus Nominal dan Arus Pengaman	39
4.7 Solar Cell	40
4.8 Perhitungan Ekonomis	41
BAB V	44
PENUTUP	44
5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	45

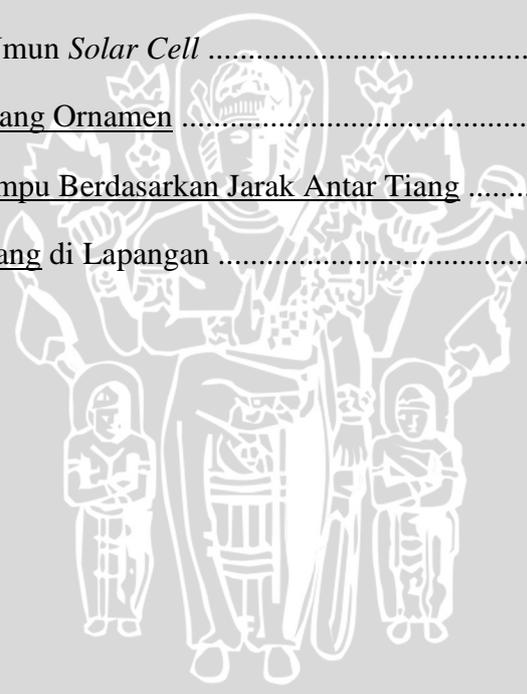


DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Jenis Lampu PJU Menurut Karakteristik dan Penggunaannya	4
Tabel 2.2	Perbandingan Kemerataan Pencahayaan	6
Tabel 2.3	Kualitas Penerangan	6
Tabel 2.4	Sistem Penempatan Lampu Penerangan Jalan Umum	8
Tabel 2.5	Besaran Kriteria Penempatan	8
Tabel 2.6	Penataan Penempatan Lampu Penerangan Jalan Umum	9
Tabel 2.7	Ketentuan Yang Disarankan	10
Tabel 2.8	Klasifikasi Menurut Kelas Jalan	15
Tabel 2.9	Klasifikasi Menurut Medan Jalan	16
Tabel 2.10	Perbandingan Relatif Sifat Tembaga dan Alumunium	23
Tabel 4.1	Perbandingan Tinggi Tiang Terhadap Sudut Ornamen	34
Tabel 4.2	Jarak Antar Tiang	35
Tabel 4.3	Variasi Ketinggian Tiang Terhadap Iluminasi yang Dihasilkan	36
Tabel 4.4	Pengaruh Variasi Lebar Jalan Terhadap Iluminasi yang Dihasilkan	36
Tabel 4.5	Perbandingan Lampu HPL-N dan SON-T	39
Tabel 4.6	Perincian Biaya <i>Solar Cell</i>	43
Tabel 4.7	Perincian Biaya Pemasangan Penerangan Jalan Umum	43

DAFTAR GAMBAR

<u>Gambar 2.1</u> Tipikal Lampu Penerangan Jalan Berdasarkan Pemilihan Letak	10
<u>Gambar 2.2</u> Lampu Merkuri	11
<u>Gambar 2.3</u> Lampu Sodium	11
<u>Gambar 2.4</u> Tiang Lampu Lengan Tunggal	12
<u>Gambar 2.5</u> Tiang Lampu Lengan Ganda	12
<u>Gambar 2.6</u> Tiang Lampu Tegak	13
<u>Gambar 2.7</u> Lampu Tanpa Tiang	14
<u>Gambar 3.1</u> Diagram Alir Penelitian	29
<u>Gambar 4.1</u> Jalan Tol Darmo Kab. Surabaya	32
<u>Gambar 4.2</u> Penerangan Jalan Umum <i>Solar Cell</i>	33
<u>Gambar 4.3</u> Penentuan Sudut Stang Ornamen	34
<u>Gambar 4.4</u> Ilustrasi Jumlah Lampu Berdasarkan Jarak Antar Tiang	37
<u>Gambar 4.5</u> Kap Lampu Terpasang di Lapangan	38



RINGKASAN

ENGGA KUSUMAYOGO, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Januari 2014, *Analisis Teknis Dan Ekonomis Penerapan Penerangan Jalan Umum Solar Cell Untuk Kebutuhan Penerangan Di Jalan Tol Darmo Surabaya*, Dosen Pembimbing: Unggul Wibawa, Ir., M.Sc. dan Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D

Penerangan Jalan Umum merupakan fasilitas vital yang dibutuhkan sebagai alat bantu navigasi pengguna jalan, meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan, mendukung keamanan lingkungan dan memberikan keindahan lingkungan jalan pada malam hari. Penerangan jalan umum juga diperlukan untuk menunjang aktifitas perekonomian dan mobilitas masyarakat di malam hari.

Jalan di sepanjang jalan tol darmo termasuk jalan kolektor primer dengan lebar 13 meter dan panjang jalan 800 meter dengan penerangan jalan umum yang memakai lampu *mercury* dan mengalami penggantian penerangan jalan umum *solar cell* yang memakai lampu. Dengan adanya perubahan tersebut maka diperlukan adanya evaluasi dan penataan ulang agar sesuai dengan kebutuhan penerangan di sepanjang jalan tersebut.

Penelitian dilakukan di Jalan Tol Darmo Surabaya dan untuk mendapatkan hasil perancangan yang sesuai, diperlukan adanya data baik tertulis maupun data yang didapat dari pengamatan lapangan. Selain itu juga diperlukan adanya sumber buku yang mendukung agar dapat dilakukan perhitungan dan analisis.

Setelah dilakukan perhitungan dan analisis pada sisi teknis dan ekonomis, dapat diketahui bahwa untuk lebar jalan 13 meter dan tiang lampu 9 meter, diperlukan sudut kemiringan ornamen $35,90^\circ$ sehingga didapatkan iluminasi 3.18 lux dan lampu dengan daya 150 watt dengan efikasi 117 lm/watt.

Total biaya investasi adalah meliputi 20 *Solar Cell* (Solar panels : SIP-135Wp 12Volt, Led lamp : LED 30WW-12V ,Controller Solar Amp Mini : 8 A, Baterai : 150Ah/12Volt, Cable, Acessories : NYAF 4mm,cable Glend, Cable Ties, Modul Support, Box Battery, Tiang : HDG OCTAGONAL, 6-7mtr). Yang berjumlah Rp. 13.588.250,00 .20 Penerangan Jalan Umum Rp. 130.478.500,00 dengan biaya operasional per tahun = Rp 18.419.460,00. Titik impasnya adalah 7,7 tahun.

Kata Kunci-PJU, lampu, daya

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Krisis energi adalah masalah yang sangat fundamental di Indonesia khususnya masalah krisis energi listrik. Energi listrik merupakan energi yang sangat diperlukan bagi manusia modern. Pada saat terjadi pemadaman listrik, maka banyak kegiatan akan terhenti seketika.

Dalam pemanfaatan energi surya digunakan *photovoltaic* yang mengkonversikan secara langsung energi surya menjadi energi listrik. Pemakaian *photovoltaic* sebagai sumber pembangkit energi tidak menghasilkan polusi, baik polusi udara maupun polusi terhadap lingkungan.

Berdasarkan pertimbangan ini nampaknya konversi *photovoltaic* dari sinar matahari menjadi energi listrik akan menjadi sumber energi utama di masa mendatang khususnya bila sumber-sumber energi konvensional (batu bara, minyak bumi dan gas bumi) sudah habis di gunakan. Selain itu harga sumber energi konvensional akan terus semakin tinggi dan persediaannya juga terbatas, sedangkan harga *photovoltaic* berangsur-angsur akan turun karena bahan bakunya melimpah di bumi dan teknologi pengembangan semakin maju.

Sumber energi matahari merupakan salah satu harapan utama sebagai sumber energi alam yang hampir dapat dikatakan tidak akan habis. *Solar cell* merupakan suatu panel yang terdiri dari beberapa sel dan beragam jenis. Penggunaan *solar cell* ini telah banyak digunakan di Negara-negara berkembang dan negara maju dimana pemanfaatnya tidak hanya pada lingkup yang kecil, tetapi sudah banyak digunakan untuk keperluan industri dan penerangan jalan umum sehingga energi matahari dapat dijadikan sebagai sumber energi alternatif tertentu. Dalam skripsi ini akan di lakukan analisis teknis dan ekonomis penerangan PJU *solar cell* untuk kebutuhan penerangan di jalan tol darmo Surabaya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah:

- 1) Berapa besarnya nilai intensitas cahaya dan efikasi cahaya pada lampu penerangan jalan umum (PJU).
- 2) berapa besarnya nilai ekonomis dari pergantian penerangan jalan umum (PJU) yang lama menjadi penerangan jalan umum (PJU) yang ber- *solar cell*.

1.3 Batasan Masalah

Pembahasan penelitian ini dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut:

- 1) Pengertian penerangan jalan umum (PJU) dan ukuran tiang.
- 2) Jenis lampu yang digunakan untuk pemasangan penerangan jalan umum (PJU) *solar cell* dengan menggunakan lampu hemat energi.
- 3) Analisa ekonomis yang ditekankan pada biaya penggantian penerangan jalan umum (PJU) tanpa *solar cell* dengan yang menggunakan *solar cell*.
- 4) Pengertian *solar cell*.
- 5) Cara kerja *solar cell* terhadap penerangan jalan umum (PJU).

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- 1) Mengetahui nilai intensitas cahaya dan efikasi cahaya pada lampu penerangan jalan umum (PJU).
- 2) Mengetahui nilai ekonomis dari pergantian penerangan jalan umum (PJU) *solar cell*.

1.5 Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan penelitian tersusun dengan urutan sebagai berikut:

BAB I : Pada bab ini dibahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika penulisan.

BAB II : Tinjauan pustaka yang membahas dasar teori tentang intensitas penerangan, luminansi dan dasar teori lain yang berhubungan.

BAB III : Memberikan penjelasan tentang metode yang digunakan untuk menganalisa permasalahan yang terdiri dari metode pengambilan data, analisis data, serta pengambilan kesimpulan.

BAB IV :Melakukan simulasi percobaan pada lampu fluorescent berjenis SL dan pada lampu LED dengan melakukan perubahan tegangan catu untuk mengetahui konsumsi arus dan daya listrik pada lampu serta penurunan intensitas penerangan.

BAB V :Berisi kesimpulan dari tujuan skripsi yang akan dibuat serta saran dari penulis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lampu Penerangan Jalan Umum

Lampu penerangan jalan merupakan (a) bagian dari bangunan pelengkap jalan yang dapat diletakkan atau dipasang di kiri atau kanan jalan dan di tengah (di bagian median jalan) yang digunakan untuk menerangi jalan maupun lingkungan di sekitar jalan yang diperlukan termasuk persimpangan jalan, jalan layang, jembatan dan jalan di bawah tanah; (b) suatu unit lengkap yang terdiri dari sumber cahaya, elemen optik, elemen elektrik dan struktur penopang serta pondasi tiang lampu (SNI 7391, 2008 : 2).

Dasar perencanaan penerangan jalan umum 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.
- d. Tekstur perkerasan dan jenis perkerasan yang mempengaruhi pantulan cahaya lampu penerangan.
- e. Pemilihan jenis dan kualitas sumber cahaya atau 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 (SNI 7391, 2008 : 4).

2.1.1 Fungsi Penerangan Jalan Umum

Penerangan jalan di kawasan perkotaan mempunyai fungsi antara lain:

1. Menghasilkan kekontrasan antara obyek dan permukaan jalan.
2. Sebagai alat bantu navigasi pengguna jalan.
3. Meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan, khususnya malam hari.
4. Mendukung keamanan lingkungan.
5. Memberikan keindahan lingkungan jalan (SNI 7391, 2008 : 4).

2.1.2 Spesifikasi Lampu Penerangan Jalan Umum

Jenis lampu penerangan jalan ditinjau dari karakteristik dan penggunaannya secara umum dan yang banyak digunakan dalam sistem penerangan jalan umum ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Jenis Lampu Penerangan Jalan Umum Menurut Karakteristik dan Penggunaannya

Jenis Lampu	Efisiensi rata-rata (lumen/watt)	Umur rencana rata-rata (jam)	Daya (watt)	Pengaruh terhadap warna obyek	Keterangan
Lampu tabung fluoresce nt tekanan rendah	60 – 70	8.000 – 10.000	18 - 20; 36 - 40	Sedang	-untuk jalan kolektor dan lokal -efisiensi cukup tinggi tetapi berumur pendek; -jenis lampu ini masih dapat digunakan untuk hal-hal yang terbatas.
Lampu gas merkuri tekanan tinggi (MBF/U)	50 – 55	16.000 – 24.000	125; 250; 400; 700	Sedang	-untuk jalan kolektor, lokal dan persimpangan; -efisiensi rendah, umur panjang dan ukuran lampu kecil; -jenis lampu ini masih dapat digunakan secara terbatas.
Lampu gas sodium bertekana n rendah (SOX)	100 - 200	8.000 - 10.000	90; 180	Sangat Buruk	-untuk jalan kolektor, lokal, persimpangan, penyeberangan, terowongan,tempat peristirahatan (<i>rest area</i>);

					<p>-efisiensi sangat tinggi, umur cukup panjang, ukuran lampu besar sehingga sulit untuk mengontrol cahayanya dan cahaya lampu sangat buruk karena warna kuning;</p> <p>-Jenis lampu ini dianjurkan digunakan karena faktor efisiensinya yang sangat tinggi.</p>
Lampu gas sodium tekanan tinggi (SON)	110	12.000 - 20.000	150; 250; 400	Buruk	<p>-Untuk jalan tol, arteri, kolektor,persimpangan besar/luas dan interchange;</p> <p>-efisiensi tinggi, umur sangat panjang, ukuran lampu kecil, sehingga mudah pengontrolan cahayanya;</p> <p>- Jenis lampu ini sangat baik dan sangat dianjurkan untuk digunakan.</p>

Sumber : SNI 7391, 2008 : 5

2.1.3 Kriteria Perencanaan dan Penempatan

Kriteria Perencanaan

- a. Penempatan lampu penerangan jalan harus direncanakan sedemikian rupa sehingga dapat memberikan penerangan yang merata, keamanan dan kenyamanan bagi pengendara, dan arah dan petunjuk (*guide*) yang jelas. Pada sistem penempatan

parsial. lampu penerangan jalan harus memberikan adaptasi yang baik bagi penglihatan pengendara sehingga efek kesilauan dan ketidaknyamanan penglihatan dapat dikurangi (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1991 : 7).

- b. Pemilihan jenis dan kualitas lampu penerangan jalan didasarkan efektifitas dan nilai ekonomi lampu yaitu nilai efektifitas (lumen atau watt) lampu yang tinggi umur rencana yang panjang. (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1991 : 7)
- c. Perbandingan Kemerataan Pencahayaan

Tabel 2.2 Perbandingan Kemerataan Pencahayaan

Lokasi penempatan	Rasio maksimum
Jalur lalu lintas :	
- di daerah permukiman	6 : 1
- di daerah komersil/pusat kota	3 : 1
Jalur pejalan kaki :	
- di daerah permukiman	10 : 1
- di daerah komersil/pusat kota	4 : 1
Terowongan	4 : 1
Tempat-tempat peristirahatan (rest area)	6 : 1

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1991 : 7

- c. Kualitas Penerangan pada suatu jalan menurut klasifikasi fungsi jalan ditentukan seperti tabel di bawah ini :

Tabel 2.3 Kualitas Penerangan

Jenis/ klasifikasi jalan	Kuat pencahayaan (Iluminansi)		Luminansi			Batasan silau	
	E rata-rata (lux)	Kemerataan (Uniformity) g1	L rata-rata (cd/m ²)	Kemerataan (uniformity)		G	TJ (%)
				V0	VI		
Trotoar	1 - 4	0,10	0,10	0,40	0,50	4	20
Jalan lokal :							

- Primer	2 - 5	0,10	0,50	0,40	0,50	4	20
- Sekunder	2 - 5	0,10	0,50	0,40	0,50	4	20
Jalan kolektor							
- Primer	3 - 7	0,14	1,00	0,40	0,50	4 - 5	20
- Sekunder	3 - 7	0,14	1,00	0,40	0,50	4 - 5	20
Jalan arteri :							
- Primer	11- 20	0,14-0,20	1,50	0,40	0,50	5 - 6	10 - 20
- Sekunder	11- 20	0,14-0,20	1,50	0,40	0,50	5 - 6	10 - 20
Jalan arteri dengan akses kontrol, jalan bebas hambatan							
15 - 20	0,14 - 0,20	1,50	0,40	0,50	5 - 6	10 - 20	
Jalan layang, simpang susun, terowongan							
20 - 25	0,20	2,00	0,40	0,70	6	10	

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1991 : 8

Keterangan :

g1 : E_{\min}/E_{\max}

g2 : $E_{\min}/E_{\text{rata-rata}}$

V0 : L_{\min}/L_{\max}

VI : $L_{\min}/L_{\text{rata-rata}}$

G : Silau (*Glare*)

TJ : Batas ambang kesilauan

Kriteria Penempatan

- a. Sistem penempatan lampu penerangan jalan yang disarankan adalah sebagai berikut:

Tabel 2.4 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 lokal	sistem menerus dan parsial.
-Persimpangan,simpang, susun, ramp	sistem menerus.
- Jembatan	sistem menerus.
- Terowongan	sistem menerus bergradasi pada ujung-ujung terowongan.

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1991 : 9

b. Besaran-besaran Kriteria Penempatan

Tabel 2.5 Besaran Kriteria Penempatan

No.	Uraian	Besaran –besaran
1.	Tinggi Tiang Lampu (H)	
	- Lampu Standar	10 – 15 m
	Tinggi Tiang rata-rata digunakan	13 m
	- Lampu Menara	20 - 50 m
2.	Jarak Interval hang Lampu (e)	
	- Jalan Arteri	3.0 m - 3.5 m
	- Jalan Kolektor	3.5 m - 4.0 m
	- Jalan Lokal	5.0 m - 6.0 m
	- minimum jarak interval tiang	30 m
3.	Jarak Tiang Lampu ke Tepi Perkerasan (s1)	minimum 0.7 m
4.	Jarak dari Tepi Perkerasan ke Titik Penerangan Terjauh (s2)	minimum L 12
5.	Sudut Inklinasi (i)	20° – 30°

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1991 : 10

Keterangan : H : Tinggi tiang lampu (m)

L : Lebar badan jalan (m)

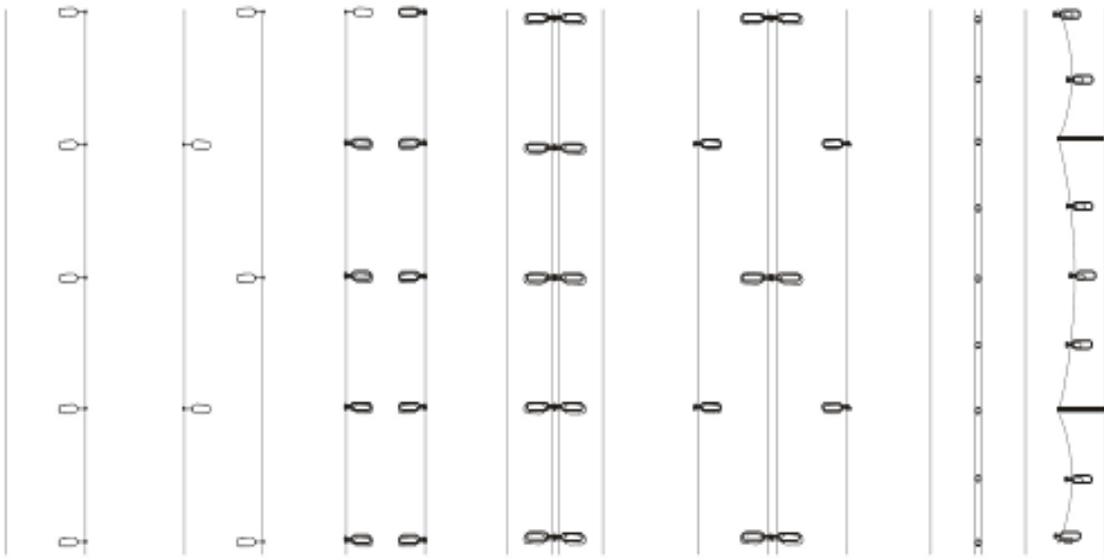
c. Penataan Penempatan Lampu Penerangan Jalan

Tabel 2.6 Penataan Penempatan Lampu Penerangan Jalan Umum

PENATAN PENEMPATAN LAMPU PENERANGAN	
TEMPAT	PENATAAN / PENGATURAN LETAK
Jalan Satu Arah	<ul style="list-style-type: none">- 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	<ul style="list-style-type: none">- di bagian tengah / Median jalan- kombinasi antara di Kiri dan Kanan berhadapan dengan di bagian tengah median jalan- Katenasi
Persimpangan	<ul style="list-style-type: none">- dapat dilakukan dengan menggunakan lampu menara dengan beberapa lampu, umumnya ditempatkan di pulau-pulau, di median jalan, di luar daerah persimpangan. (dalam daerah milik jalan ataupun dalam daerah pengawasan jalan)

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1991 : 11

Berikut adalah gambar yang menunjukkan penataan penempatan lampu penerangan jalan umum.



Gambar 2.1 Tipikal Lampu Penerangan Jalan Berdasarkan Pemilihan Letak

Sumber : SNI 7391, 2008 : 26

(a) (b) (c) (d) (e) (f)

Keterangan :

- (a) : di kiri atau kanan jalan (d) : di tengah median jalan
 (b) : di kiri dan kanan jalan berselang-seling (e) : kombinasi
 (c) : di kiri dan kanan jalan berhadapan (f) : katenasi

KETENTUAN-KETENTUAN YANG DISARANKAN

Tabel 2.7 Ketentuan-Ketentuan yang Disarankan

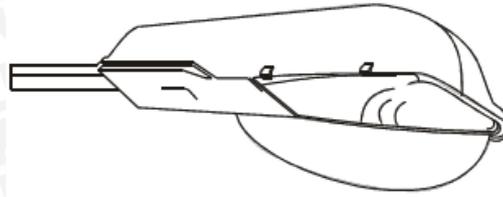
- di kiri atau Kanan jalan	$L < 1.2 H$
- di Kiri dan Kanan jalan berselang -seling	$1.2 H < L < 1.0 H$
- di Kiri dan Kanan jalan berhadapan	$1.6 H < L < 2.4 H$
- di Median Jalan	$3L < 0.8 H$

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1991 : 11

2.1.4 Dimensi dan Struktur Lampu PJU

1. Lampu Penerangan Jalan berdasarkan Jenis sumber cahaya

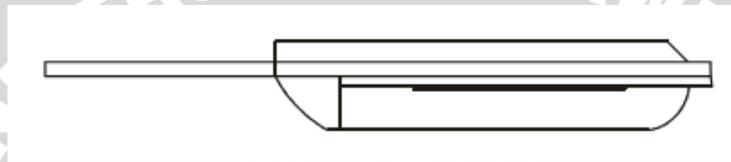
a. Lampu Merkuri



Gambar 2.2 Lampu Merkuri

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1991 : 14

b. Lampu Sodium



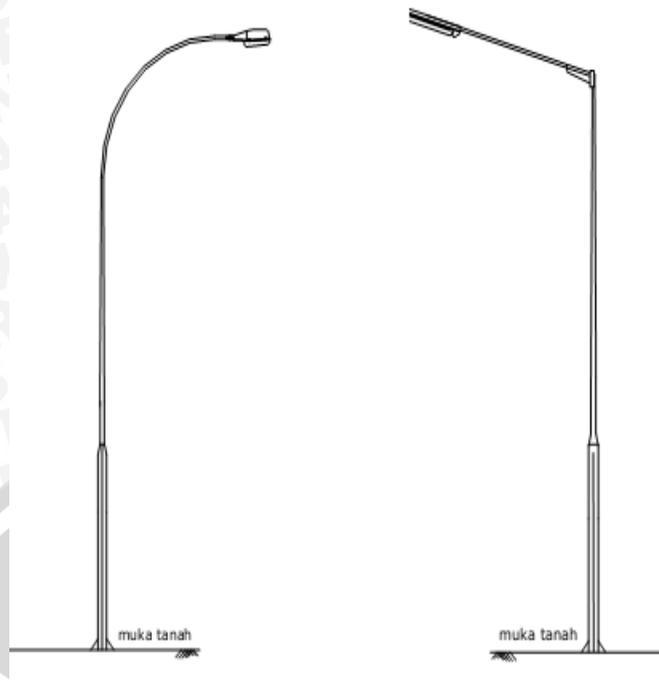
Gambar 2.3 Lampu Sodium

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1991 : 14

2. Lampu Penerangan Jalan berdasarkan bentuk tiang

a. Tiang Lampu dengan Lengan Tunggal

Tiang lampu ini umumnya diletakkan pada sisi kiri atau kanan jalan.

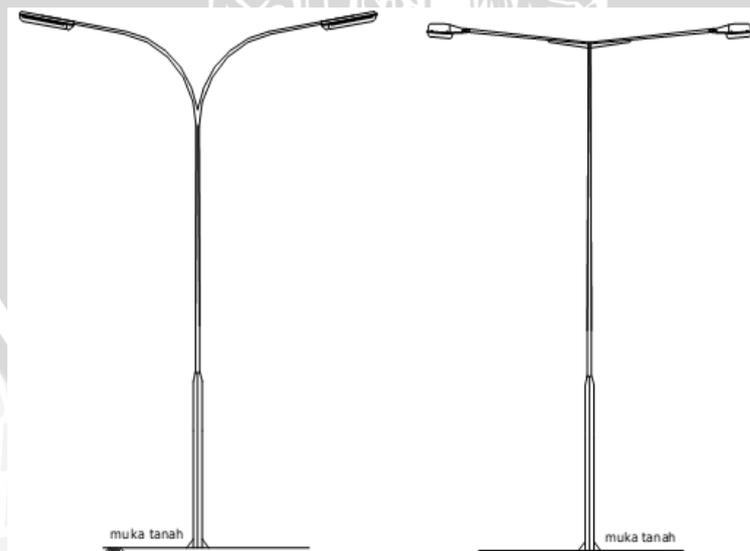


Gambar 2.4 Tiang Lampu Lengan Tunggal

Sumber : SNI 7391:2008:20

b. 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.

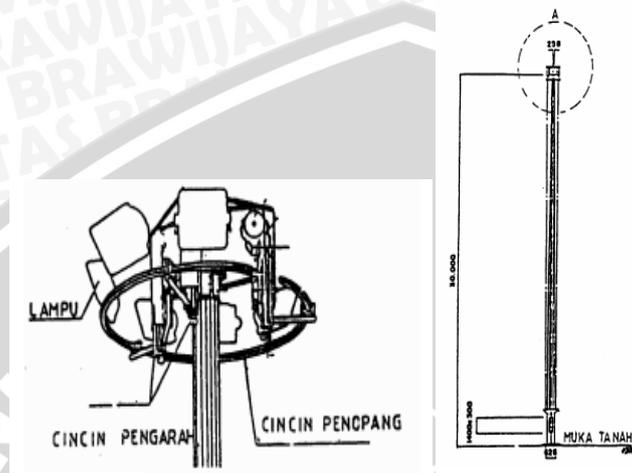


Gambar 2.5 Tiang Lampu Lengan Ganda

Sumber : SNI 7391:2008:21

c. 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.

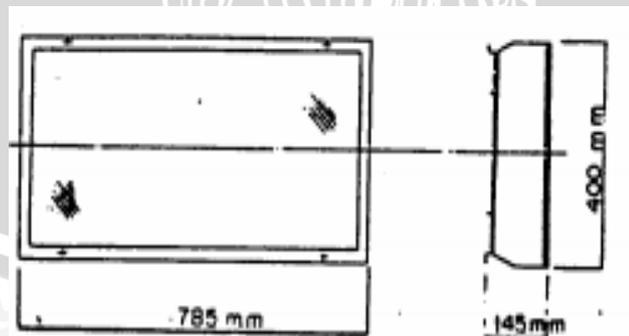


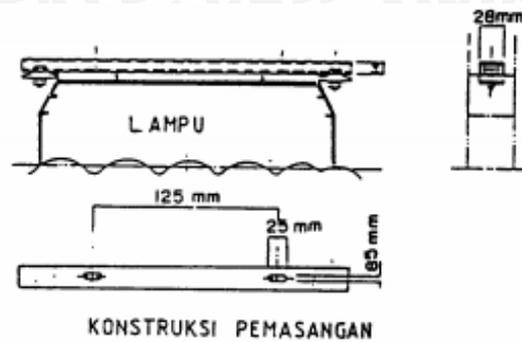
Gambar 2.6 Tiang Lampu Tegak

Sumber :Direktorat Jenderal Bina Marga, 1991 : 17

d. Lampu Tanpa Tiang

Lampu Tanpa Tiang adalah lampu yang diletakkan pada dinding ataupun langit-langit suatu konstruksi seperti dibawah konstruksi jembatan, dibawah konstruksi jalan layang atau di dinding maupun di langit-langit terowongan.





Gambar 2.7 Lampu Tanpa Tiang

Sumber :Direktorat Jenderal Bina Marga, 1991 : 18

2.2 Jalan

Jalan adalah 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).

2.2.1 Klasifikasi menurut fungsi jalan

1. Jalan Arteri

Jalan Arteri adalah jalan umum yang berfungsi melayani angkutan utama dengan ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara berdaya guna (SNI 6967, 2003 : 6).

- a. didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 60 km/jam dan dengan lebar badan jalan tidak kurang dari 8 meter.
- b. mempunyai kapasitas lebih besar dari pada volume lalu-lintas rata-rata.
- c. lalu-lintas jalan arteri primer tidak boleh diganggu oleh lalu-lintas ulang alik, lalu-lintas lokal dan kegiatan lokal.
- d. jumlah jalan masuk ke jalan arteri primer dibatasi.
- e. jalan arteri primer tidak terputus walaupun memasuki kota dan desa.
- f. DAWASJA tidak kurang dari 20 meter.

2. Jalan kolektor

Jalan kolektor adalah jalan umum yang berfungsi melayani angkutan pengumpul atau pembagi dengan ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang, dan jumlah jalan masuk dibatasi (SNI 6967, 2003 : 6).

- a. didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 40 km/jam dan lebar badan jalan tidak kurang dari 7 meter.
- b. mempunyai kapasitas yang sama atau lebih besar dari volume lalu-lintas rata-rata.
- c. jalan kolektor primer tidak terputus walaupun memasuki desa.
- d. DAWASJA tidak kurang dari 15 meter.

3. Jalan lokal

Jalan lokal adalah jalan umum yang berfungsi melayani angkutan setempat dengan ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi. (SNI 6967, 2003 : 6)

- a. didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 20 km/jam dan dengan lebar badan jalan tidak kurang dari 6 meter.
- b. jalan lokal primer tidak terputus walaupun memasuki desa.
- c. DAWASJA tidak kurang dari 10 meter.

2.2.2 Klasifikasi menurut kelas jalan

- 1. Klasifikasi menurut kelas jalan berkaitan dengan kemampuan jalan untuk menerima beban lalu lintas, dinyatakan dalam muatan sumbu terberat (MST) dalam satuan ton.
- 2. Klasifikasi menurut kelas jalan dan ketentuannya serta kaitannya dengan kasifikasi menurut fungsi jalan

Tabel 2.8 Klasifikasi Menurut Kelas Jalan

F u n g s i	Kelas	Muatan Sumbu Terberat (ton)
Arteri	I	>10
	II	10
	III A	8
Kolektor	III A	8
	III B	



Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997 : 4

2.2.3 Klasifikasi menurut medan jalan

1. Medan jalan diklasifikasikan berdasarkan kondisi sebagian besar kemiringan medan yang diukur tegak lurus garis kontur.
2. Klasifikasi menurut medan jalan untuk perencanaan geometrik dapat dilihat dalam.

Tabel 2.9 Klasifikasi Menurut Medan Jalan

No.	Jenis Medan	Notasi	Kemiringan Medan(%)
1.	Datar	D	< 3
2.	Perbukitan	B	3 - 25
3.	Pegunungan	G	> 25

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997 : 5

2.3 Dasar Pencahayaan

2.3.1 Sumber Cahaya

Cahaya merupakan suatu gejala fisis. Suatu sumber cahaya akan memancarkan energi dimana sebagian dari energi ini diubah menjadi cahaya tampak. Perambatan cahaya di ruang hampa dilakukan oleh gelombang-gelombang elektromagnetik. Gejala-gejala yang sejenis dengan cahaya adalah gelombang-gelombang panas, radio, radar dan sebagainya. Gelombang-gelombang tersebut hanya berbeda frekuensinya (Harten,1981: 1-2).

2.3.2 Macam-macam sumber cahaya

Macam sumber cahaya modern dapat dibagi menjadi 2 kelompok yaitu pemancar suhu dan lampu tabung gas (Harten,1981:54).

1. Pemancar Suhu

Saat ini satu-satunya pemancar suhu listrik yang masih digunakan ialah lampu pijar.

a. Lampu Pijar

Cahaya lampu pijar dibangkitkan dengan mengalirkan arus listrik dalam suatu kawat halus. Dalam kawat ini energi listrik diubah menjadi panas dan cahaya. Arus listrik dalam kawat pijar ialah gerakan elektron-elektron bebas. Karena gerakan elektron-elektron ini terjad benturan-benturan dengan elektron-elektron yang terikat pada inti atom.

Setelah pemakaian dalam beberapa lama, *flux* cahaya lampu pijar akan mengalami penurunan. Karena penguapan, luas penampang kawat pijarnya pun akan berkurang sehingga tahanan listriknnya akan meningkat dan arus listriknnya berkurang. Selain itu, bagian dalam bolanya akan menghitam (Harten,1981:54-55).

b. Lampu Halogen

Lampu-lampu halogen juga dikenal sebagai lampu yodium. Lampu-lampu ini diisi gas dengan campuran sedikit yodium, kira-kira 0.1 mg per cm^3 . Karena adanya yodium ini, dalam lampu akan terjadi suatu reaksi kimia yang mengembalikan *wolfram* yang telah menguap ke kawat pijar lampu. Suhu dinding bola lampu relatif rendah.

Jadi dengan mencampurkan sedikit yodium, *wolfram* yang telah menguap dapat dikembalikan ke kawat pijar. Lampu pijar yodium ini adalah sebuah lampu pijar dengan bola yang sangat panas. Suhu dinding bola harus kira-kira 600°C , supaya reaksinyadapat berlangsung dengan baik. Karena itu bola lampu ini terbuat dari kuarsa Lampu yodium masa kini memiliki flux cahaya spesifik 20 lm/w untuk lampu dengan umur 2000 jam nyala, dan 25 lm/w untuk lampu dengan umur 200 jam. Diameter lampu yodium kira-kira 10 mm dan panjangnya 200 mm (Harten,1981:58-59).

2. Lampu Tabung Gas

Lampu-lampu tabung gas terdiri dari tabung berbagai bentuk yang diisi dengan gas dan uap logam. Pada masing-masing ujung tabung terdapat sebuah elektroda yang bentuknya tergantung pada jenis tabung.

Fungsi gas dalam tabung antara lain untuk membantu menyalakan lampunya. Gas yang digunakan adalah gas mulia misalkan *neon* dan *argon*. Gas-gas mulia memiliki sifat tidak melakukan reaksi kimia dengan unsur-unsur lain. (Harten,1981:61)

a. Lampu Natrium

Lampu ini terdiri dari tabung berbentuk U dengan dua elektroda yang masing-masing dilengkapi dengan sebuah *emitter*. Tabung tersebut diisi dengan natrium dan suatu gas bantu. Di dalam tabung selalu terdapat natrium cair, maka tekanan dalam tabung sama dengan tekanan uap jenuh dari natrium pada suhu kerja lampu yaitu pada 270°C . Pada suhu ini tekanan uap jenuhnya adalah 4.10^{-3} mm Hg. Gas bantu yang digunakan terutama terdiri dari neon yang setelah mencapai suhu kerja yang sebenarnya, baru dipancarkan warna cahaya yang sebenarnya (Harten,1981:62-63).

b. Lampu Air Raksa Tekanan Amat Tinggi

Lampu air raksa tekanan amat tinggi memiliki sebuah tabung gas kecil dari kwarsa. Tabung gas tersebut diisi dengan *argon* sebagai gas bantu dan dengan sedikit air raksa. Tekanan dalam tabung dalam keadaan menyala adalah 5 atm (Harten,1981:66-67)

c. Lampu Tabung *fluoresen*

Lampu Tabung *fluoresen* diisi dengan uap air raksa dan gas mulia argon yang dalam keadaan menyala, tekanan uap air raksa dalam tabung sangat rendah. Suhu kerja lampu ini adalah sekitar 40°C . Tabung *fluoresen* memerlukan kumparan hambat unruk membangkitkan tegangan kejut untuk penyalanya dan untuk membatasi arusnya. Untuk memulai penyalanya diperlukan sebuah starter. (Harten,1981:72-74)

2.3.3 Hukum Penerangan atau Iluminasi Cahaya

Daya dari sumber cahaya disebut intensitas iluminasi (I). Menurut sejarahnya, sumber cahaya adalah lilin dan merupakan standar yang disetujui yang disimpan di Laboratorium Fisika Nasional. Lilin (kandela) merupakan satuan intensitas dari sebuah titik sumber yang memancarkan energy cahaya ke semua arah.

Aliran cahaya atau fluksi iluminasi (F) yang dipancarkan oleh sumber diukur dalam lumen. Satu lumen adalah fluksi cahaya yang dipancarkan dalam sudut pejal satuan dari sebuah titik sumber sebesar satu lilin (Neidle, 1991:249).

a. Fluks Cahaya

Fluks cahaya adalah seluruh jumlah cahaya yang dipancarkan dalam satu detik (Harten,1981:7).

$$\Phi = \omega I \quad (2-1)$$

Dimana :

Φ : fluks cahaya (lm)

ω : sudut ruang dalam steredian (sr)

I : intensitas cahaya (Cd)

b. Intensitas Penerangan

Intensitas penerangan atau iluminasi di suatu bidang adalah fluks cahaya yang jatuh pada 1 meter² dari bidang itu. Satuan untuk intensitas penerangan adalah Lux dan lambangnya E. (Harten,1981:8)

$$E = \frac{\Phi}{A} \tag{2-2}$$

Dimana :

E : intensitas penerangan (lux)

Φ : fluks cahaya dalam lumen (lm)

A : luas bidang (m²)

Diagram polar intensitas cahaya digunakan untuk menghitung intensitas penerangan di suatu titik menurut rumus :

$$Ep = \frac{I}{r^2} \text{ lux} \tag{2-3}$$

Intensitas penerangan E di bidang horizontal a¹-b¹ tegak lurus pada arah I, menurut hukum kuadrat akan sama dengan :

$$E^{-1} = \frac{I}{r^2} \text{ lux} \tag{2-4}$$

Intensitas penerangan E di bidang horizontal a-b ialah proyeksi dari E¹ pada garis tegak lurus pada bidang a-b di titik P, jadi :

$$E = E^1 \cos a \tag{2-5}$$



Dimana :

a : sudut antara sinar cahaya dan garis tegak lurus pada bidang a-b di titik P

Dari dua rumus tersebut, didapat :

$$E = \frac{I}{r^2} \cos a \text{ lux} \quad (2-6)$$

Apabila letak titik cahaya diatas bidang horizontal sama dengan h, didapat :

$$\cos a = \frac{h}{r} \quad \text{atau} \quad \frac{I}{r^2} = \frac{\cos a}{h} \quad (2-7)$$

c. Luminasi

Luminasi adalah suatu ukuran untuk terang suatu benda. Luminasi yang terlalu besar akan menyilaukan mata. (Harten,1981:9)

$$L = \frac{I}{A_s} \quad (2-8)$$

Dimana :

L : luminasi (cd/cm²)

I : intensitas cahaya (cd)

A_s : luas semu permukaan (cm²)

d. Efikasi

Efikasi cahaya merupakan hasil bagi antara *fluks luminous* dengan daya listrik masukan suatu sumber cahaya. (SNI 6197,2000:2)

$$K = \frac{\Phi}{P} \quad (2-9)$$

Dimana :

K : efikasi cahaya (lm/watt)

Φ : fluks cahaya (lm)

P : daya listrik (watt)

e. Energi Lampu Tiap Bulan

$$E_{\text{bulan}} = P \times t \quad (2-10)$$

Dimana :

E_{bulan} : Energi lampu total tiap bulan (kWh/bulan)

P : Daya lampu total

t : waktu nyala (jam/bulan)

f. Biaya Pemakaian

$$M = P_{\text{bulan}} \times U \quad (2-11)$$

Dimana :

M : Biaya pemakaian tiap bulan (Rp/bulan)

U : Tarif biaya pemakaian tiap bulan (Rp/kWh)

P_{bulan} : Daya total lampu tiap bulan

g. Biaya Beban

$$K = S \times P_{\text{total}} \quad (2-12)$$

Dimana :

K : Biaya beban tiap bulan (Rp/bulan)

S : Tarif beban tiap bulan (Rp/kVA/bulan)

P_{total} : Daya lampu total

h. Biaya total tiap bulan

$$A = B + C \quad (2-13)$$

Dimana :

A : Biaya total tiap bulan (Rp/bulan)

B : Biaya beban tiap bulan (Rp/bulan)

C : Biaya pemakaian tiap bulan (Rp/bulan)

2.4 Armatur atau Rumah Lampu

Armatur adalah rumah lampu yang digunakan untuk mengendalikan dan mendistribusikan cahaya yang dipancarkan oleh lampu yang dipasang di dalamnya.

Armatur dibagi berdasarkan 5 hal, yaitu:

- Berdasarkan sifat penerangannya yaitu penerangan langsung, difus, sebagian tak langsung, dan tak langsung.

- b. Berdasarkan konstruksinya yaitu armature biasa, kedap tetesan air, kedap air, kedap letupan debu dan kedap letupan gas.
- c. Berdasarkan penggunaannya yaitu armature untuk penggunaan dalam, penerangan luar, penerangan industry, dekorasi, dan armature yang ditanam di dinding atau langit-langit dan armature yang tidak ditanam.
- d. Berdasarkan bentuknya yaitu armature balon, pinggan, rok, gelang, armature pancaran terbatas, dan armature jenis lain untuk lampu bentuk tabung.
- e. Berdasarkan cara pemasangannya yaitu armature langit-langit, dinding, gantung, armature memakai pipa dan armature gantung dengan kabel. (Harten,1981:29)

Bentuk sumber cahaya dan armatur harus sedemikian rupa sehingga tidak menyilaukan mata. Bayang-bayang harus ada, sebab bayang-bayang ini diperlukan untuk dapat melihat benda-benda sewajarnya. Akan tetapi bayang-bayang itu tidak boleh terlalu tajam.

Selain itu konstruksi armatur harus sedemikian rupa sehingga ada cukup udara untuk menyingkirkan panas yang ditimbulkan oleh sumber cahaya. Karena itu harus ada cukup banyak lubang di bawah dan bagian atas armatur. Suhu armatur tidak boleh menjadi tinggi hingga dapat menimbulkan kebakaran atau merusak isolasi. (Harten,1981:29-30)

Rumah lampu penerangan dapat diklasifikasikan menurut tingkat perlindungan terhadap debu dan air. Hal ini dapat diindikasikan dengan istilah IP (*Index of Protection*) atau indek perlindungan, yang memiliki 2(dua) angka, angka pertama menyatakan indek perlindungan terhadap debu. Dan angka kedua menyatakan indek perlindungan terhadap air.

Sistem IP merupakan penggolongan yang lebih awal terhadap penggunaan peralatan yang tahan hujan, dan ditandai dengan lambang. Semakin tinggi indek perlindungan (IP), semakin baik standar perlindungannya. Pada umumnya, indek perlindungan (IP) yang sering dipakai untuk klasifikasi lampu penerangan adalah : IP 23, IP 24, IP 25, IP 54, IP 55, IP 64, IP 65, dan IP 66.

2.5 Penghantar Listrik

Ukuran konduktor erat kaitannya dengan kerugian daya dalam penyaluran tenaga listrik, karena semakin besar luas penampang konduktor maka akan semakin kecil kerugian dayanya. Demikian juga sebaliknya.

Konduktor adalah merupakan suatu material (biasanya logam) yang dapat dilalui panas dan listrik dengan mudah. (Linsley,2004:59)

Penghantar udara terutama penghantar telanjang digunakan pada pemasangan di luar bangunan, diregangkan pada isolator-isolator diantara tiang-tiang yang disediakan secara khusus. Bahan yang banyak dipakai untuk kawat penghantar terdiri dari kawat tembaga telanjang (BCC yang merupakan singkatan dari *Bare Copper Cable*) aluminium telanjang (AAC yang merupakan singkatan dari *All Aluminium Cable*), campuran yang berbasis aluminium (Al-Mg-Si), aluminium berinti baja (ACSR atau *Aluminium Cable Steel Reinforced*) dan kawat baja yang diberi lapisan tembaga (*Copper-Weld*). Secara keseluruhan dapat dikatakan bahwa material terpenting untuk saluran listrik adalah tembaga dan aluminium. (Kadir,2000:37)

Tabel 2.10 Perbandingan Relatif Beberapa Sifat Tembaga dan Aluminium Sebagai Bahan Hantar Listrik

Jenis Sifat	Cu	Al
Daya Hantar Listrik	1	0.605
Berat Jenis	1	0.305
Penampang	1	1.65
Diameter	1	1.28
Berat	1	0.505
Ketahanan Tarik	1	0.353
Ketahanan Tarik hingga patah	1	0.582

Sumber: Abdul Kadir, Pengantar Teknik Tenaga Listrik, LP3ES, Jakarta 1993

Jenis Penghantar

a. Tembaga

Tembaga diambil dari bijih-bijih tambang di Afrika Selatan, Amerika Utara, Australia, dan Chili. Untuk keperluan listrik, tembaga disaring hingga kemurnian tembaga 98,8%, kotoran dikeluarkan dari bijih-bijih tembaga dengan peleburan dan elektrolisa.

Tembaga adalah konduktor yang sangat baik, bersifat non magnetic dan mempunyai ketahanan terhadap korosi atmosfer. Tembaga diperkuat dengan penempaan, tetapi dapat dilunakkan dengan pemanasan sampai berwarna merah pucat sebelum didinginkan.

Tembaga merupakan komponen terbesar dari logam campuran kuningan dan digunakan untuk membuat kabel listrik, pemanasan rumah, tabung pendingin dan radiator kendaraan. Logam berwarna cokelat kemerahan ini juga digunakan untuk perhiasan. (Linsley,2004:60).

b. Alumunium

Alumunium adalah logam putih keabu-abuan yang diperoleh dari mneral bauksit yang ditemukan di Amerika Serikat, Jerman dan Federasi Rusia. Alumunium adalah konduktor yang sangat baik, bersifat non magnetik dan memiliki ketahanan terhadap korosi atmosfer dan terkenal akan kelunakan dan keringannya.

Alumunium digunakan dalam pembuatan kabel daya. Kabel gantung jaringan nasional terbuat dari konduktor alumunium yang diperkuat dengan dengan inti dari besi. Konduktor tembaga akan terlalu berat untuk menahan beratnya sendiri antara menara-menara. Keringannya dan ketahanannya terhadap korosi menjadikan alumunium suatu logam yang ideal. (Linsley,2004:60).

2.5.1 Luas Penampang Kabel

Untuk mendapatkan nilai luas penampang sebuah kabel, diperlukan beberapa perhitungan yang meliputi arus nominal dan arus rating pengaman agar didapatkan luas penampang yang sesuai.

a. Arus nominal

Arus nominal digunakan sebagai dasar pemilihan rating MCB untuk melindungi sistem. Untuk menghitung arus nominal tiga fasa menggunakan persamaan matematis :

$$I_n = \frac{P}{V_L \times \cos \varphi} \quad (2-15)$$

Arus Nominal pada APP 3 Fasa yaitu :

$$I_n = \frac{P_{total}}{\sqrt{3} \times V_f \times \cos \varphi} \quad (2-16)$$

Dimana :

I : arus nominal (Ampere)

V : tegangan (Volt)

P : daya (Watt)

Cos φ : faktor daya

b. Arus Rating Pengaman

Untuk menentukan rating pengaman digunakan persamaan :

$$I_{rating} = K \times I_n \quad (2-17)$$

Nilai K (konstanta) biasanya digunakan 125%.

Arus rating pengaman pada APP 3 fasa digunakan persamaan :

$$I_{rating} = K \times I_n \quad (2-18)$$

c. Luas Penampang Kabel

Untuk mengetahui luas penampang kabel yang dibutuhkan, digunakan persamaan :

$$A = \frac{\sqrt{3} \times \rho \times l \times I \times \cos \phi}{V \text{ drop}} \quad (2-19)$$

Dimana :

A : luas penampang yang dicari

ρ : tahanan jenis logam penghantar

l : panjang kabel

I : arus yang dibutuhkan

$\cos \phi$: faktor daya

V drop : 0 – 5 %

2.6 Pengertian Solar Cell

2.6.1 Prinsip Kerja Solar Cell

Sistem *photovoltaic* menghasilkan daya keluaran hanya pada saat modul *photovoltaic* disinari matahari, oleh karena itu sistem *photovoltaic* menggunakan mekanisme penyimpanan energi agar energi listrik selalu tersedia pada waktu matahari sudah tidak menyinari (malam hari). Baterai merupakan komponen yang digunakan untuk penyimpanan energi listrik yang dihasilkan *array photovoltaic*. Selain untuk media penyimpanan energi listrik, baterai juga digunakan untuk pengaturan sistem tegangan dan sumber arus yang dapat melebihi kemampuan *array photovoltaic*. (Messenger, 2004:47)

Mekanisme sistem penyimpanan energi pada baterai umumnya digabungkan dengan *battery control regulator* yang digunakan untuk mencegah kondisi kelebihan pengisian (*overcharged*) atau kondisi kelebihan pengosongan (*overdischarged*). Jika beban yang disuplai sistem merupakan beban AC, maka dibutuhkan inverter untuk merubah tegangan DC menjadi tegangan AC.

Jika sistem yang digunakan menggabungkan sistem *backup* atau *hybrid* untuk mengambil alih dalam mensuplai energi listrik apabila sistem *photovoltaic* tidak menghasilkan energi yang cukup, maka sistem akan membutuhkan kontroler untuk mengoperasikan sistem *backup* atau *hybrid*.

Dalam permasalahan energi, tidak semua energi yang dihasilkan oleh modul yang tersedia dapat digunakan dalam sistem, karena beberapa energi hilang di dalam kabel, baterai, *charge regulator* dan inverter. Pada umumnya efisiensi sistem terdiri dari: efisiensi kabel, baterai dan *charge controller*. Hal ini dapat diambil menjadi 80 persen (artinya efisiensi sistem sebesar 80 persen dan 20 persen dari energi yang dihasilkan hilang) (Hankins, 2010: 123).

2.6.2 Aplikasi Solar Cell

Sebelum mendesain sistem energi alternatif yang memanfaatkan *solar cell* ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan yaitu:

- Pemakaian daya rata-rata selama 24 jam.
- Pemakaian daya rata-rata pada malam hari (terhitung dari nilainya sinar matahari yang mengenai *solar cell*).
- Pemakaian daya puncak.

Gambaran diatas memperlihatkan sistem energi listrik alternatif yang memanfaatkan sinar matahari. Pertimbangan-pertimbangan diatas digunakan untuk mengetahui spesifikasi komponen yang akan dipasang pada sistem tersebut, karena salah memilih komponen bisa menyebabkan sistem ini tidak bekerja dengan baik (mudah rusak/tidak maksimal).

Adapun fungsi pada tiap bagian antara lain yaitu:

- *Solar cell*

Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang memadai, sel *photovoltaic* dihubungkan secara seri untuk membentuk modul *photovoltaic*. Karena sistem *photovoltaic* biasanya dioperasikan pada kelipatan 12 volt, modul biasanya dirancang untuk operasi yang optimal dalam sistem ini. Tujuan desain adalah untuk menghubungkan sel secara seri dengan jumlah yang sesuai dengan kebutuhan untuk mendapatkan tegangan maksimum modul yang sesuai dengan baterai dengan kondisi rata-rata radiasi matahari. Jika hal ini dilakukan, daya keluaran modul dapat diperoleh mendekati maksimum (Messenger, 2004: 52).

- *Switch Controller*

Proses kendali sistem *hybrid* antara *photovoltaic* dan sumber listrik lain dilakukan oleh unit kontroler. Sistem *hybrid* yang akan dirancang menggunakan prinsip kerja satu arah, yaitu dalam satu waktu tertentu beban hanya disuplai oleh salah satu pembangkit, oleh karena itu *switch controller* akan bertindak mengatur sumber pembangkit yang akan menyuplai beban (Bien, 2008: 39).

- Baterai

Baterai adalah komponen sistem *photovoltaic* yang berfungsi menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh modul *photovoltaic* pada siang hari, untuk kemudian di pergunakan pada malam hari dan pada saat cuaca mendung. Baterai yang digunakan pada sistem *photovoltaic* mengalami proses siklus mengisi (*charging*) dan mengosongkan (*discharging*), tergantung pada ada tidaknya sinar matahari (Messenger, 2004: 57).

- **Inverter**

Pemilihan *inverter* yang tepat untuk aplikasi tertentu tergantung pada kebutuhan gelombang beban dan efisiensi inverter. Pemilihan Inverter juga akan tergantung pada apakah inverter akan menjadi bagian dari sistem *grid-connected* atau sistem yang berdiri sendiri. Masih ada banyak peluang untuk insinyur memperbaiki inverter, karena kegagalan inverter tetap menjadi salah satu penyebab utama kegagalan sistem *photovoltaic* (Messenger, 2004: 83).

2.7 Aspek Ekonomi

2.7.1 Pengertian Investasi

Secara umum investasi merupakan suatu penanaman modal berupa uang ke dalam barang. Menurut buku manajemen yang diedit oleh Ali Basyah Siregar dan TMA Ari Samadhi, dituliskan bahwa investasi dapat diartikan sebagai penggunaan sumber daya. Dengan demikian disatu pihak investasi merupakan suatu pengeluaran yang akan meningkatkan aktivitas bagi perusahaan, dilain pihak investasi juga akan memberikan harapan suatu pengembalian (*return*) tertentu (Wibawa,2004:22).

2.7.2 Objek Investasi

Berdasarkan objek investasinya, terdapat tiga jenis investasi yaitu:

- a. *Investasi Riil* / produksi, investasi yang berkaitan dengan pelaksanaan proses produksi dalam suatu industri, baik bentuk pengadaan, pengembangan dan perbaikan. Yang diperhitungkan tidak hanya mesin dan peralatan pendukungnya, melainkan juga tanah, bangunan, kendaraan angkut, dan bahan baku.
- b. *Investasi financial*, investasi yang tidak berkaitan langsung dengan proses produksi, misalnya pembelian saham, surat berharga atau oligasi publik.
- c. *Investasi immaterial*, investasi yang berkaitan dengan pelaksanaan studi kelayakan, penelitian, pengembangan dan promosi (Wibawa,2004:22-23).

2.7.3 Tujuan Investasi

Investasi memiliki beberapa tujuan yang ditetapkan dan dibagi menjadi lima jenis yaitu:

- a. Investasi untuk pembangunan, pengadaan baru atau pendirian.
- b. Investasi untuk perbaikan dan pemeliharaan sistem.
- c. Investasi untuk rasionalisasi dalam rangka peningkatan efisiensi kerja dalam industry atau perusahaan. Dalam kenyataannya dampak rasionalisasi juga akan terjadi bersama dengan pelaksana investasi untuk perbaikan sistem.

- d. Investasi lanjutan atau tambahan dalam rangka pengembangan atau penyempurnaan sistem.

Investasi untuk social dan keselamatan kerja, biasanya yang terkait dengan masalah social dan keselamatan kerja antara lain: pembangunan kantin, instalasi pemadam kebakaran dan instalasi pengolahan limbah (Wibawa,2004:23-24).

2.7.4 Tarif listrik

Tarif listrik pada dasarnya tidak lain daripada suatu daftar harga dari perusahaan listrik untuk jasa-jasa berikutnya. Tujuan akhirnya agar diperoleh penghasilan yang secukupnya guna menutupi semua biaya operasi dan mendapatkan suatu surplus atau laba yang wajar (Kadir,2000:293).

Unsur-unsur biaya tenaga listrik dapat dirinci sebagai berikut:

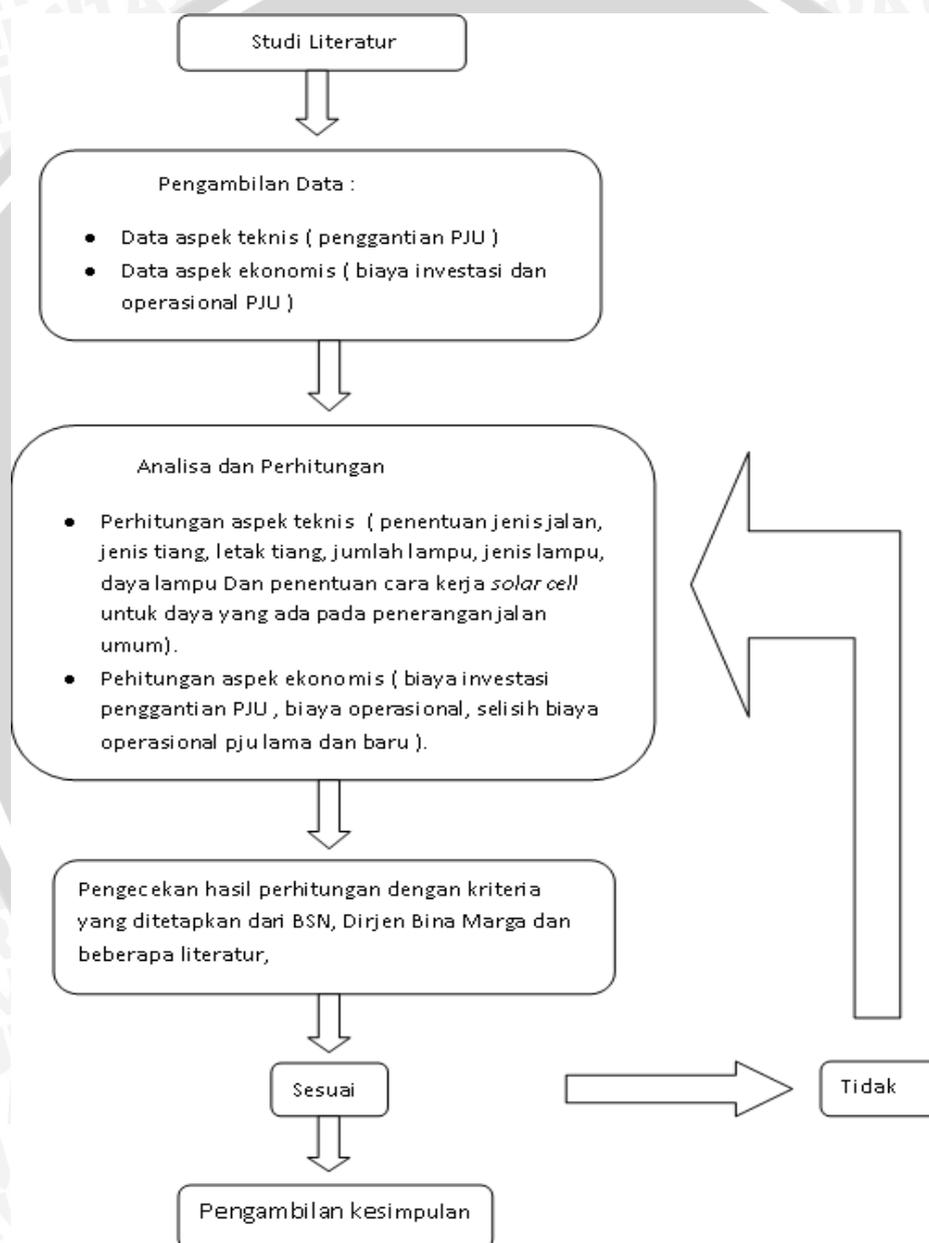
- a. Biaya pelanggan. Hal ini bervariasi dengan jumlah pelanggan yang dilayani dan berkaitan dengan biaya sambungan rumah, peralatan pengukuran, penagihan, dan administrasi.
- b. Biaya beban. Hal ini bervariasi dengan beban pelanggan dan termasuk beban modal dan biaya-biaya berkaitan dengan pembangkit, saluran transmisi dan bagian dari system distribusi yang tidak termasuk dalam (a).
- c. Biaya energi. Hal ini bervariasi dengan jumlah energy listrik, yaitu kWh yang diperlukan dan untuk sebagian besar terdiri atas bahan bakar.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Utama

Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan penelitian yang terdapat di bab pendahuluan maka diperlukan metode untuk menyelesaikan masalah tersebut. Metode yang digunakan dapat diuraikan melalui diagram alir berikut ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Sumber : Penulis

3.2 Lokasi Penelitian

Obyek penelitian pada skripsi ini adalah mencari dan menganalisa nilai ekonomisnya dari pergantian penerangan jalan umum (PJU) tanpa menggunakan *solar cell* menjadi yang menggunakan *solar cell* yang bertempat di TOL satelit raya darmo SURABAYA.

3.3 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan ketentuan dan dasar-dasar teori yang digunakan sebagai landasan dalam penulisan. Studi literatur tersebut meliputi :

- a. Pengertian Penerangan Jalan Umum
- b. Jenis Tiang
- c. Dasar Pencahayaan
- d. Pengaturan Penerangan
- e. Jenis Lampu
- f. Pengertian *Solar Cell*
- g. Cara Kerja *Solar Cell*

3.4 Pengambilan Data

Data yang diperlukan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah data sekunder. Data sekunder adalah data yang sudah tersedia. Data sekunder yang diperoleh adalah dari data penerangan jalan umum yang sebelumnya dan membandingkan dengan data penerangan jalan umum (PJU) setelah menggunakan *solar cell*.

3.5 Perhitungan dan Analisis Data

Langkah selanjutnya adalah perhitungan dan analisis dari data yang sudah ada sehingga diperoleh hasil yang sesuai dengan rumusan masalah yang telah ditulis. Dari perhitungan dan analisis tersebut akan dilakukan pengecekan ulang apakah sudah sesuai dengan kriteria yang dianggap sebagai acuan. Pada perhitungan dan analisis data, dilakukan perhitungan yang meliputi dua hal aspek yaitu aspek teknis dan ekonomis.

Pada sisi aspek teknis, yang dilakukan adalah :

- a. Penentuan desain PJU yang meliputi jenis tiang yang digunakan, peletakan tiang, jumlah lampu, jenis lampu dan besar daya lampu yang akan digunakan agar kuat penerangan, intensitas cahaya dan parameter lainnya terpenuhi.
- b. Penentuan cara kerja *solar cell* untuk daya yang ada pada penerangan jalan umum (PJU).

Pada sisi aspek ekonomis yang dilakukan adalah :

- a. Perhitungan biaya pergantian penerangan jalan umum (PJU) tanpa menggunakan *solar cell* dengan yang menggunakan *solar cell*.
- b. Perhitungan biaya operasional untuk penerangan jalan umum (PJU) yang menggunakan *solar cell* selama satu bulan.
- c. Perhitungan selisih / penghematan antara penerangan jalan umum (PJU) tanpa menggunakan *solar cell* dengan yang baru yaitu yang menggunakan *solar cell*.

3.6 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan ini dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan data yang didapat, hasil perhitungan dan analisis yaitu :

- a. Mendapatkan analisis dari penerangan jalan umum (PJU) tanpa menggunakan *solar cell* dengan yang baru yaitu yang menggunakan *solar cell*.
- b. Mendapatkan nilai ekonomis dari penerangan jalan umum (PJU) tanpa menggunakan *solar cell* dengan yang baru yaitu yang menggunakan *solar cell*.

Dapat juga dilakukan pemberian saran kepada pembaca yang akan melakukan studi terkait dengan skripsi ini. Dengan meliputi hal-hal yang masih menjadi kendala dalam skripsi ini atau hal-hal yang masih memerlukan kajian lebih dalam lagi.

BAB IV

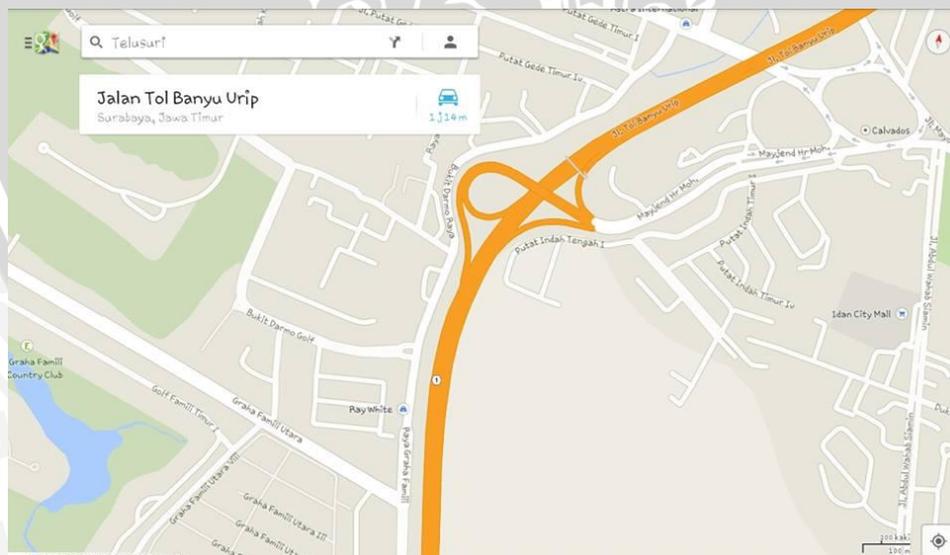
PERHITUNGAN DAN ANALISIS

Pada bab ini akan diuraikan perhitungan dan analisis dari studi literatur dan data-data yang telah dikumpulkan baik secara langsung maupun data tertulis yang didapat dari keterangan Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga dan Pengairan Unit Pelayanan Teknis Penerangan Jalan Umum Kabupaten Surabaya yang kemudian diolah dan dilakukan perhitungan dan analisis baik dari sisi teknis maupun ekonomis.

4.1 Gambaran Umum Jalan Tol Darmo Surabaya

Kota Surabaya sebagai ibu kota provinsi Jawa Timur yang terletak di tepi pantai utara provinsi Jawa Timur atau tepatnya berada pada diantara $7^{\circ} 9' - 7^{\circ} 21'$ lintang selatan dan $112^{\circ} 36' - 112^{\circ} 54'$ bujur timur. Di Surabaya ini juga terdapat Jalan Tol Darmo yang PJU-nya mengalami perubahan. PJU pada Jalan Tol Darmo Surabaya ini dilakukan perubahan dengan mengganti PJU biasa yang memakai lampu merkuri dengan sistem baru yaitu menggunakan solar cell dimana lampu sudah menggunakan LED.

Jalan Tol Darmo merupakan jalan akses keluar Tol yang menghubungkan arah Mayjend Sungkono Surabaya. Jalan PJU yang akan diganti pada Jalan Tol Darmo sepanjang 750 meter. Berikut ini adalah gambar yang menunjukkan Jalan Tol Darmo.



Gambar 4.1 Jalan tol darmo

4.2 Kondisi Eksisting

Jalan Tol Darmo merupakan jalan akses keluar Tol yang menghubungkan arah Mayjend Sungkono Surabaya. Jalan PJU yang akan diganti pada Jalan Tol Darmo sepanjang

800 meter. Berikut ini adalah gambar yang menunjukkan Jalan Tol Darmo beserta PJU setelah diganti dengan menggunakan solar cell.



Gambar 4.2 PJU Solar Cell

Di sepanjang jalan tersebut terpasang tiang beton dengan tinggi 9 meter dengan jenis dan daya lampu 150 watt dan panjang stang ornamen 1,3 meter dengan jarak antar tiang 40m.

4.3 Perencanaan Penerangan Jalan Umum

Sebelum dilakukan perhitungan dan analisis teknis, perlu dilakukan pengamatan di lapangan tentang kondisi penerangan jalan umum yang telah terpasang sebelumnya. Pada kondisi di lapangan, keadaan penerangan jalan umum yang terpasang memang dirasakan perlu diadakan penggantian selain alasan penghematan energi. Dan setelah dilakukan pengamatan, maka dapat dilakukan langkah selanjutnya agar didapat rancangan yang sesuai.

4.3.1 Desain Penerangan Jalan Umum

Berdasarkan data jalan yang telah didapat diatas, dapat diketahui bahwa jalan tersebut akan mengalami banyak perubahan pada penerangan jalan umum yang telah terpasang sebelumnya. Perubahan-perubahan tersebut meliputi :

a. Tinggi tiang lampu yang akan digunakan adalah 9 meter

Untuk menentukan sudut kemiringan stang ornamen dapat dihitung sebagai berikut

$$\begin{aligned} : T &= \sqrt{h^2 + c^2} \\ &= \sqrt{9^2 + 6.5^2} = 11,101 \text{ meter} \end{aligned}$$

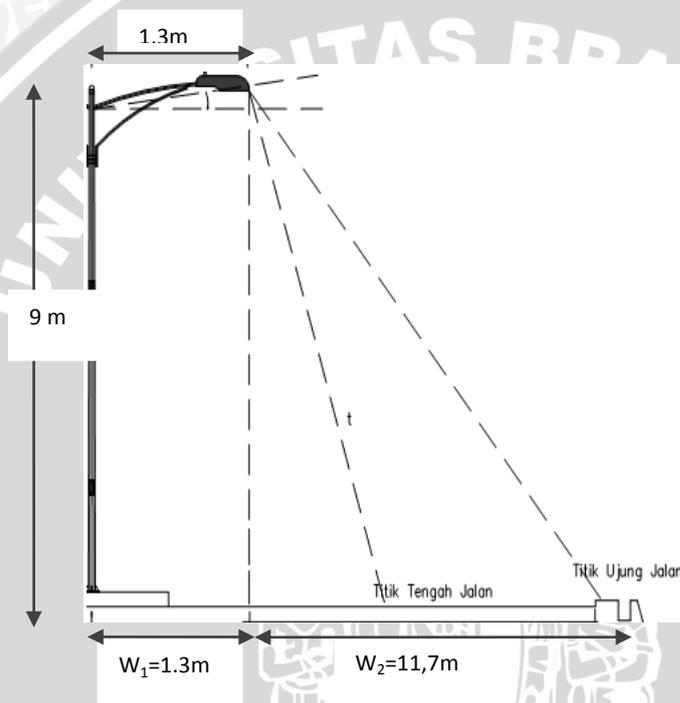
Maka :

$$\cos \varphi = \frac{h}{t}$$

$$= \frac{9}{11,101} = 0.81$$

$$\varphi = \cos^{-1} 0.732 = 35,90^\circ$$

Jadi didapat kemiringan stang ornamen sebesar $35,90^\circ$



Gambar 4.3 Penentuan Sudut Stang Ornamen

Berikut ini adalah tabel perbandingan tinggi tiang terhadap sudut kemiringan stang ornamen dengan lebar jalan 13 meter dan panjang stang ornamen 1,3 meter.

Tabel 4.1 Perbandingan Tinggi Tiang Terhadap Sudut Kemiringan Stang Ornamen

No	Tinggi Tiang 9 (meter)	Sudut Stang Ornamen ($^\circ$)
1	7	42,94 $^\circ$
2	8	39,10 $^\circ$
3	9	35,90 $^\circ$

4	10	33,07 ⁰
5	11	30,68 ⁰

Berdasarkan tabel diatas, diperoleh bahwa semakin tinggi tiang yang digunakan, maka sudut stang ornamen diperoleh semakin kecil. Artinya jika semakin tinggi tiang yang digunakan, maka cahaya yang dihasilkan lebih menyebar.

b. Jarak antar tiang untuk jalan kolektor 3.5 H – 4.0 H

H adalah tinggi tiang yang digunakan. Maka untuk mendapatkan jarak antar tiang yang akan digunakan adalah ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 4.2 Jarak Antar Tiang

No	Tinggi Tiang 9 meter	Jarak interval digunakan
1	Interval 3.5 H	35 meter
2	Interval 3.6 H	36 meter
3	Interval 3.7 H	37 meter
4	Interval 3.8 H	38 meter
5	Interval 3.9 H	39 meter
6	Interval 4.0 H	40 meter

Berdasarkan perhitungan tersebut, diambil kesimpulan bahwa tiang akan dipasang pada setiap jarak pembulatan 40 meter agar pencahayaan tetap terpenuhi.

c. Menghitung Intensitas Cahaya (i dalam candela/cd)

$$\Phi = \omega I \tag{2-1}$$

$$I = \frac{\Phi}{\omega}, \omega = 4\pi$$

dimana :

$$K = \frac{\Phi}{P} \text{ dan } \phi = KxP \tag{2-9}$$

$$\text{Sehingga : } I = \frac{K.P}{\omega}$$

Besarnya K (efikasi cahaya) rata-rata lampu merkuri sebesar 117 lm/watt, dengan daya 150 Watt dan besarnya sudut ruang $\omega = 4\pi$, maka:

$$I = \frac{117.150}{4\pi} = 1396,58 \text{ Cd}$$



d. Menghitung Iluminasi pada Titik Ujung Jalan

Untuk menghitung iluminasi pada titik ujung jalan, dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$E_p = \frac{I}{r^2} \cos a \text{ lux} \quad (2-6)$$

Apabila letak titik cahaya diatas bidang horizontal sama dengan h, didapat :

$$\cos a = \frac{h}{r} \quad (2-7)$$

Jarak lampu ke ujung jalan (r) :

$$r = \sqrt{9^2 + 13^2} = 15,81 \text{ meter}$$

$$E_p = \frac{I}{r^2} \cos a = \frac{1396,58}{15,81^2} \times \frac{9}{15,81}$$

$$E_p = 3.18 \text{ lux}$$

Sesuai dengan SNI 7391, Iluminasi yang diperoleh memenuhi syarat yang ditentukan. Berikut ini tabel pengaruh variasi beberapa ketinggian tiang lampu jalan yang digunakan terhadap Iluminasi yang dihasilkan dengan data jalan seperti gambar diatas dan efikasi lampu 117 lm/watt.

Tabel 4.3 Variasi Ketinggian Tiang Lampu Terhadap Iluminasi yang Dihasilkan

No	Tinggi Tiang 9 (meter)	Iluminasi (Lux)
1	8	3,14
2	9	3,18
3	10	3,16
4	11	3,11
5	12	3,02

Tabel 4.4 pengaruh variasi lebar jalan terhadap Iluminasi yang dihasilkan dengan tinggi tiang tetap 9 M.

No	Lebar Jalan (meter)	Iluminasi (Lux)
1	10	5,73
2	11	5,35



3	12	4,96
4	13	4,59
5	14	4,24

4.3.2 Jumlah Lampu

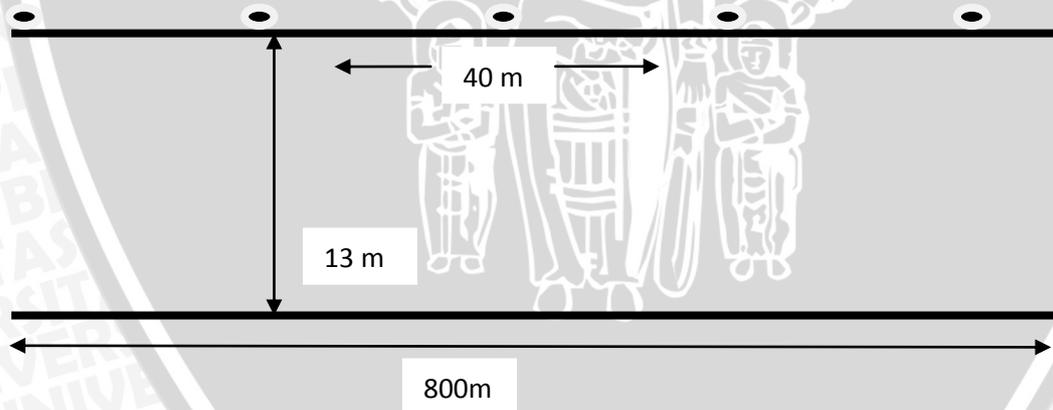
Jumlah lampu yang akan dipasang pada sepanjang jalan tersebut dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$T = \frac{L}{S}$$

$$T = \frac{800}{40} = 20$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, jumlah lampu yang akan dipasang adalah sebanyak 20 titik lampu dengan jarak antar tiang 40 meter. Namun pada Jalan Tol Darmo Surabaya dikarenakan posisi jalan tikungan, maka hanya akan dilakukan pemasangan dan penggantian pada 20 titik lampu.

Berikut ilustrasi yang menunjukkan jumlah lampu berdasarkan jarak yang telah ditentukan :



Gambar 4.4 Ilustrasi Jumlah Lampu Berdasarkan Jarak Antar Tiang

4.4 Armatur atau Rumah Lampu

Rumah lampu penerangan dapat diklasifikasikan menurut tingkat perlindungan terhadap debu/benda dan air. Hal ini dapat diindikasikan dengan istilah IP (Index of Protection) atau indeks perlindungan, yang memiliki dua angka. Angka pertama menyatakan

indeks perlindungan terhadap debu/benda dan angka kedua menyatakan indeks perlindungan terhadap air.

Sistem IP merupakan penggolongan yang lebih awal terhadap penggunaan peralatan yang tahan hujan dan sebagainya, dan ditandai dengan lambang. Semakin tinggi indeks perlindungan (IP), semakin baik standar perlindungannya. Pada umumnya, indeks perlindungan (IP) yang sering dipakai untuk klasifikasi lampu penerangan adalah : IP 23, IP 24, IP 25, IP 54, IP 55, IP 64, IP 65, dan IP 66.

Pada kondisi eksisting terdapat kap lampu lama yang sudah seharusnya diganti. Selain itu, dikarenakan masih ada rencana jangka panjang terkait pelebaran jalan selanjutnya, maka diputuskan untuk mengganti kap lampu yang memiliki kemampuan hingga 600 W yaitu Philips SPP 368 SON-T 400W dengan spesifikasi IK05; IP65/IP43.

Berikut adalah kap lampu yang sudah terpasang di lapangan



Gambar 4.5 Kap Lampu Yang Digunakan

4.5 Perhitungan Daya Listrik

4.5.1 Jenis dan Besar Daya Lampu

Jenis lampu yang akan digunakan sangat berpengaruh terhadap perencanaan penataan penerangan jalan dikarenakan masing-masing lampu memiliki spesifikasi masing-masing yang dapat menjadi bahan pertimbangan pemilihan lampu yang akan digunakan

Jenis lampu HPL-N atau merkuri memiliki usia kerja dan efikasi yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan lampu jenis lain yaitu sekitar 35-60 lm/W. Pada jenis lampu ini juga membutuhkan waktu untuk bersinar penuh.

Pada jenis lampu sodium bertekanan tinggi / SON / SON-T memiliki usia kerja hampir sama dengan jenis lampu merkuri, namun lampu sodium bertekanan tinggi memiliki efikasi yang lebih tinggi yakni 50-140 lm/W. Memiliki biaya operasional lebih rendah namun relatif tinggi untuk biaya investasi karena harga awal lampu yang mahal.

Berikut adalah perbandingan antara lampu HPL-N dan SON-T dengan daya dan merk yang sama.

Tabel 4.5 Perbandingan Lampu HPL-N dan SON-T

Yang Dibandingkan	Philips HPL-N 250W E40 HG SLV	Philips HPL-N 400W/542 E40 HG 1SL	Philips MASTER SON-T PIA Plus 150W E E40
Efikasi	51 lm/w	55 lm/w	117 lm/w
Efisiensi energi	B	B	A+
Kandungan merkuri	38 mg	72 mg	20,4 mg
Luminasi	12.700 lm	22.000 lm	18.000 lm
Suhu kerja	4100 K	4200 K	2000 K
Suhu bola lampu maksimal	3500 C	350 ⁰ C	450 ⁰ C
Umur lampu pada 5% kegagalan	6000 jam	6000 jam	20.500 jam
Umur lampu pada 50% kegagalan	16000 jam	16000 jam	32.000 jam

Berdasarkan tabel perbandingan diatas, dapat dipastikan bahwa lampu yang akan digunakan berjenis sodium tekanan tinggi / SON-T memiliki efisiensi yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan lampu jenis HPL-N atau merkuri.

pada tiang ke-10 yang merupakan jarak tengah diantara 20 titik lampu., maka jumlah daya yang mengalir pada tiap-tiap SDP adalah sebagai berikut :

$$P = 150 \text{ watt} \times 20 \text{ titik lampu}$$

$$= 3000 \text{ Watt}$$

4.6 Arus Nominal dan Arus Rating Pengaman

Arus nominal masing-masing fasa dapat dihitung dengan :

$$I_n = \frac{P}{V \cdot \cos \phi}$$

$$= \frac{3500}{220 \cdot 0.8} = 19,88 \text{ A}$$

Maka arus rating pengaman :

$$I_{rating} = K \times I_n$$

$$= 125\% \times 19,88 \text{ A}$$

$$= 24,85 \text{ A}$$

Arus Nominal pada APP 3 Fasa yaitu :

$$I_n = \frac{P_{total}}{3V \cdot \cos \varphi}$$

$$I_n = \frac{3500}{3 \cdot 220 \cdot 0.8} = 11,48 \text{ A}$$

Arus rating pada APP yaitu :

$$I_{rating} = K \times I_n$$

$$= 125\% \times 11,48 \text{ A}$$

$$= 14,35 \text{ A}$$

Penentuan Panjang Saluran dan Jenis Penghantar

Untuk menghubungkan satu lampu dengan lampu lainnya digunakan kabel dan dikarenakan merupakan perencanaan, diasumsikan jatuh tegangan maksimal adalah 5% dan menggunakan kabel dengan penghantar alumunium dengan hambatan jenis 0.0286, yaitu NFA2x0,6/1KV.

Oleh karena jumlah tiang yang digunakan sebanyak 20 batang dan letak panel ditengah-tengah 20 tiang yaitu pada tiang ke-10, maka panjang kabel NFA2x0,6/1KV yang digunakan ditambahkan dengan toleransi 5% dapat dihitung sebagai berikut:

Panjang kabel NFA2x0,6/1KV

$$= (\text{jumlah tiang} \times \text{jarak tiang}) \times 105\%$$

$$= (20 \times 40 \text{ meter}) \times 105\%$$

$$= 840 \text{ meter (arah kanan panel)}$$

Panjang kabel NFA2x0,6/1KV

$$= (\text{jumlah tiang} \times \text{jarak tiang}) \times 105\%$$

$$= (20 \times 40 \text{ meter}) \times 105\%$$

$$= 840 \text{ meter (arah kiri panel)}$$

Untuk menentukan luas penampang kabel NFA2x0,6/1KV yang digunakan:

$$A = \frac{\sqrt{3} \times \rho \times l \times I_{rating} \times \cos \varphi}{V_{drop}}$$

$$= \frac{\sqrt{3} \times 0.0286 \times 840 \times 24,85 \times 0.8}{220 \times 5\%} = 75,20 \text{ mm}^2$$

Nilai tersebut merupakan luas penampang total. Dikarenakan merupakan jaringan 3 fasa, maka luas penampang kabel per fasa adalah luas penampang total dibagi 3 yaitu 25,06 mm². Maka kabel yang sesuai adalah NFA2x0,6/1KV dengan luas penampang 4x25mm².

4.7 Solar Cell

Solar Cell untuk daya yang ada pada penerangan jalan umum. Untuk kapasitas listrik terpasang 220 watt.

$$1 \text{ buah lampu LED } 30 \text{ watt} \times 12 \text{ jam} = 360 \text{ wh}$$

$$\text{Total : } 30 \text{ watt per jam} = 360 \text{ wh}$$

Dari kapasitas listrik terpasang 220 watt yang digunakan adalah 30 watt per jam apabila pemakaian 360 wh.

Cara perhitungan sederhana untuk pemakaian listrik solar panel :

$$360 \text{ wh} : 135 \text{ (panel solar)} = 2,66$$

$$2,66 : 5 \text{ Jam (lama pemanasan)} = 0,5$$

$$0,5 : 2 \text{ (minimal daya otonomi)} = 1 \text{ unit}$$

Listrik yang dihasilkan adalah

$$1 \text{ unit} \times 135 \text{ wp} = 135 \text{ wh pemanasan puncak.}$$

Dalam sehari, kurang lebih bisa menghasilkan listrik

$$135 \text{ wp} \times 5 = 675 \text{ wh}$$

Jadi untuk beban listrik terpasang 220 watt, setara dengan kapasitas 135 wp atau 675 wh menggunakan 1 unit panel solar tipe 135 wp dan unit penyimpanan daya (batere) kapasitas 150 Ah 12 volt sebanyak 2 unit, 1 unit batere charge control dan 1 unit inverter, bracket, panel box, box batere dan peralatan pendukung.

4.8 Perhitungan Ekonomis

Perhitungan Biaya Energi Listrik

Untuk dapat menentukan besarnya biaya energi listrik yang harus dibayar, maka harus ditentukan pemakaian energi listrik selama lampu menyala. Pemakaian energi listrik untuk lampu jalan diatur melalui *time switch* yang mulai menyala pukul 17.30 dan mati pada pukul 05.30, sehingga lampu beroperasi selama 12 jam.

Energi yang terpakai pada PJU ini adalah :

$$\begin{aligned} P &= V \times I \times \cos \phi \\ &= 220 \text{ W} \times 19,88 \times 0,8 \\ &= 3498,88 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= V \times I \times \sin \phi \\ &= 220 \text{ V} \times 19,88 \text{ A} \times 0,6 \\ &= 2624,16 \text{ VAR} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{P^2 + Q^2} \\ &= \sqrt{3498,88^2 + 2624,16^2} \\ &= 4373,6 \text{ VA} \end{aligned}$$

Maka dalam satu hari, energi yang dibutuhkan dihitung per APP adalah :

$$\begin{aligned}
 E \text{ per hari} &= P \times 12 \text{ jam} \\
 &= 3498,88 \times 12 \text{ jam} \\
 &= 41,98 \text{ kWh per hari}
 \end{aligned}$$

Sehingga dapat dihitung, dalam satu bulan adalah :

$$\begin{aligned}
 E \text{ per bulan} &= 41,98 \times 30 \text{ hari} && (2-11) \\
 &= 1259,5 \text{ kWh per APP per bulan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya pemakaian} &= E \text{ per bulan} \times U && (2-12) \\
 &= 1259,5 \times \text{Rp } 890,- \\
 &= \text{Rp } 1.120.955,-
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya pemakaian per tahun} &= \text{Rp. } 1.401.216,- \times 12 \\
 &= \text{Rp. } 13.451.460,-
 \end{aligned}$$

Tarif yang digunakan untuk lampu pada rumah menurut aturan Perusahaan Listrik Negara adalah termasuk golongan P3 dengan harga Rp 890,- per kWh tanpa biaya beban , melainkan disebut RM atau Rekening Minimum yang harus dibayarkan. Perhitungannya sebagai berikut :

$$P3/TR = \text{Biaya Beban} + ((\text{daya dipakai KVAh}) \times \text{Rp.890}) \quad (2-13)$$

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya Beban RM2} &= 40 \text{ (jam menyala)} \times \text{daya tersambung (KVA)} \times \\
 &\quad \text{Biaya Pemakaian Blok I} \\
 &= 40 \times 23 \text{ kVA} \times (\text{H1} \times \text{Rp.900}) \\
 &= 40 \times 23 \text{ kVA} \times (50\% \times \text{Rp.900}) \\
 &= \text{Rp. } 414.000,-
 \end{aligned}$$

$$\text{Maka biaya bulanan yang harus dibayarkan adalah :} \quad (2-14)$$

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya Bulanan P3-TR} &= \text{Biaya Beban} + ((\text{daya dipakai kVAh}) \times \text{Rp } 890,-) \\
 &= \text{Rp } 414.000,- + (1259.5 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 890,-) \\
 &= \text{Rp } 1.534.955,-
 \end{aligned}$$

Jadi biaya tahunan yang harus dibayarkan adalah :

$$\begin{aligned}
 &= \text{Rp } 1.534.955,- \times 12 \\
 &= \text{Rp } 18.419.460,-
 \end{aligned}$$

Untuk dapat menentukan biaya investasi, maka harus dihitung berdasarkan komponen-komponen yang mengalami penggantian secara total.

Tabel 4.6 Perincian Biaya Solar cell

No	Barang	Deskripsi	Jumlah
1	Solar panels	SIP-135Wp 12Volt	1 Pcs
2	Led lamp	LED 30WW-12V	1 Pcs
3	Controllor Solar Amp Mini	8A	1 Pcs
4	Baterai	150Ah/12Volt	1 Pcs
5	Cable, Accessories	NYAF 4mm,cable Glend, Cable Ties	1 Set
6	Modul Support		1 Set
7	Box Battery		1 Set
8	Tiang	HDG OCTAGONAL, 6-7mtr	1 Set
	Harga		Rp. 13.588.250

Tabel 4.7 Perincian Biaya Pemasangan PJU Daya 3500 VA

No.	Keterangan	Banyaknya	Sat	Harga Sat.	Jumlah
I SISI PLN					
1	Biaya Penyambungan	3,500	-	775	Rp 2,712,500
2	Uang Jaminan Langganan	3,500	-	215	Rp 752,500
3	Materai	1	bh	6,000	Rp 6,000
	Sub Total I				Rp 3,471,000
II SISI ADMINISTRASI					
1	SLO (Surat Laik Operasi)	3,500	-	95	Rp 332,500
2	Jaminan Instalasi	3,500	-	50	Rp 175,000
3	Jasa pengurusan				Rp 200,000
	Sub Total II				Rp 707,500
III SISI INSTALASI MILIK PELANGGAN					
1	Tiang PJU 9 meter octagonal	20	set	3,850,000	Rp 77,000,000
2	Rumah lampu lengkap SON 150Watt	20	set	1,450,000	Rp 29,000,000
3	Kabel TC 2x10mm ²	800	mtr	4,500	Rp 3,600,000
4	Plandes untuk tatakan tiang	20	bh	200,000	Rp 4,000,000
5	Kabel NYA 3x2,5mm ²	20	lot	20,000	Rp 400,000
6	MCB 1pul 4A untuk pengaman lampu	20	bh	45,000	Rp 900,000
7	Box kecil tempat MCB	20	bh	25,000	Rp 500,000
8	Box panel meter PJU	1	bh	650,000	Rp 650,000
9	Panel PJU daya 3500VA	1	bh	2,250,000	Rp 2,250,000
10	Jasa pemasangan	20	bh	350,000	Rp 7,000,000
11	Transport	1	lot		Rp 1,000,000
	Sub Total III				Rp 126,300,000
	TOTAL I + II + III				Rp 130,478,500

Maka biaya total investasi adalah Rp. 13.588.250,- x 20 = Rp. 271.765.000,-

Jadi Titik impas adalah = (271.765.000 – 130.478.500) : 18.419.460

= 141.286,500 : 18.419.460

= 7,7 tahun.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan perhitungan-perhitungan yang dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Didapatkan intensitas cahaya dari lampu penerangan jalan umum yaitu 1396,58 Cd dengan efikasi cahaya pada lampu penerangan jalan umum sebesar 117 lm/watt.
2. Aspek ekonomis meliputi biaya investasi penggantian komponen dan biaya operasional bulanan PJU.
 - a. Biaya Investasi meliputi: 20 *solar cell* yang berjumlah Rp. 271.765.000,-
20 Penerangan Jalan Umum yang berjumlah Rp. 130.478.500,-
 - b. Biaya Operasional Lampu per Tahun adalah Rp. 18.419.460,-
Jadi Titik impas adalah 7,7 tahun.

5.2 Saran

Untuk yang akan datang, dari penelitian ini, penulis menyarankan :

1. Penelitian ini dapat dijadikan acuan perencanaan Penerangan Jalan Umum Tol Darmo Surabaya.
2. Pemilihan jenis *Solar cell* agar diperhatikan pada mereknya, karena perbedaan teknologi masing-masing produsen yang berpengaruh pada efisiensi penerangan.
Dari hasil penelitian, disarankan untuk dapatnya dilakukan dalam penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, 2000. *SNI 6197 Konservasi Energi Sistem Pencahayaan Pada Bangunan Gedung*, Jakarta:BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 2003. *SNI 6967 Persyaratan Umum Sistem Jaringan dan Geometrik Jalan Perumahan*, Bandung:BSN
- Badan Standarisasi Nasional, 2008. *SNI 7391 Spesifikasi Penerangan Jalan di Kawasan Perkotaan*, Jakarta:BSN.
- Bien, LE, dkk. 2008. *Perancangan system Hibrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Jala-Jala Listrik PLN Untuk Rumah Perkotaan*. Jakarta: Teknik Elektro Universitas Trisakti.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 1991. *Spesifikasi Lampu Penerangan Jalan Perkotaan*, Jakarta.
- Hankins, Mark. 2010. *Stand-Alone Solar Electric Systems*. London: Earthscan.
- Harten P.Van,1981. *Instalasi Arus Kuat 2*, Bandung: Bina Cipta
- Kadir, Abdul 2000. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*. Cetakan Pertama, Jakarta : Universitas Indonesia (UI-Press).
- Massenger, Roger A. dan Ventre, Jerry. 2004. *Photovoltaic Systems Engineering*. Second Edition. New York: CRC Press
- Neidle, Michael,1991. *Teknologi Instalasi Listrik*, Erlangga.
- Wibawa, Unggul, 2004. *Manajemen Industri- II*, Malang : Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

