

ANALISIS KELAYAKAN EKONOMI PENERANGAN JALAN
UMUM DENGAN ENERGI SURYA DI KOTA PALOPO

*ANALYSIS OF ECONOMIC FEASIBILITY OF PUBLIC STREET
ILLUMINATION BY SOLAR ENERGY IN PALOPO CITY*

IKA MASWATY



PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
Tahun 2013

ANALISIS KELAYAKAN EKONOMI PENERANGAN JALAN
UMUM DENGAN ENERGI SURYA DI KOTA PALOPO

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Perencanaan Prasarana

Disusun dan Diajukan oleh

IKA MASWATY

kepada

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

Tahun 2013

TESIS

ANALISIS KELAYAKAN EKONOMI PENERANGAN JALAN UMUM
DENGAN ENERGI SURYA DI KOTA PALOPO

Disusun dan diajukan oleh

IKA MASWATY

Nomor Pokok P2800211011

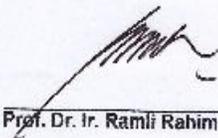
Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal 15 Agustus 2013
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui,
Komisi Pembaca

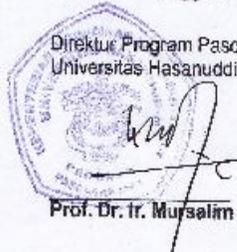

Prof. Dr. Ing. M. Yamin Jinca, M.STR.
Ketua


Prof. Dr. H. Syamsu Alam, S.E., M.Si.
Anggota

Ketua Program Studi
Teknik Perencanaan Prasarana,


Prof. Dr. Ir. Ramli Rahim, M.Eng.

Direktur Program Pascasarjana
Universitas Hasanuddin,


Prof. Dr. Ir. Mursalin

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ika Maswaty

Nomor Mahasiswa : P 2800211011

Program Studi : Teknik Perencanaan Prasarana

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Agustus 2013

Yang Menyatakan

IKA MASWATY

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas kehendak dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.

Gagasan yang melatarbelakangi permasalahan ini timbul dari hasil pengamatan penulis terhadap krisis energi listrik akibat semakin tingginya harga Bahan Bakar Minyak sebagai sumber fosil energi listrik konvensional. Penulis bermaksud menganalisis kelayakan aspek ekonomi pemanfaatan energi surya sebagai alternatif sumber energi listrik pada penerangan jalan.

Banyak kendala yang dihadapi oleh penulis dalam penyusunan tesis ini, yang hanya berkat bantuan beberapa pihak sehingga tesis ini selesai pada waktunya. Dalam kesempatan ini penulis dengan tulus menyampaikan terima kasih kepada:

1. Orang tua tercinta atas doa dan dukungannya yang selalu menemani langkah penulis serta petuahnya yang selalu mengarahkan dan menguatkan hati penulis.
2. Bapak Prof.Dr.Ing.M.Yamin Jinca, M.STr sebagai Ketua Komisi Penasihat yang ditengah kesibukan yang sangat padat sebisa mungkin memberikan bimbingannya kepada penulis.

3. Bapak Prof. Dr.H.Syamsu Alam,SE, M.Si sebagai Anggota Komisi Penasihat atas bimbingan dan ilmunya serta nasihatnya kepada penulis.
4. Bapak Prof.Dr.Ir.Ananto Yudoyono,M.Eng, Baharuddin Hamzah ST, M.Arch, Ibu Prof.Dr.Ir.Shirly Wunas, DEA atas sarannya selama proses ujian penulis.
5. Bapak Prof. Dr.Ir. Ramli Rahim, M.Eng selaku ketua program studi Teknik Perencanaan Prasarana, bapak dan ibu dosen yang telah banyak membantu selama perkuliahan.
6. Ka.UPTD PJU Kota Palopo beserta stafnya, PT.PLN Persero, Dinas PU Kota Palopo yang telah banyak membantu dalam pengumpulan data dan informasi.
7. Rekan-rekan TPP 11 yang memberikan doa , sumbangsih, dan semangat kepada penulis selama perkuliahan sampai dengan tesis ini selesai.

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin agar tesis ini dapat terselesaikan dengan baik, namun keterbatasan kemampuan penulis sehingga tesis ini tampil dengan segala kekurangannya.

Makassar, Agustus 2013

IKA MASWATY

ABSTRAK

IKA MASWATY. *Analisis Kelayakan Ekonomi Penerangan Jalan Umum dengan Energi Surya di Kota Palopo* (dibimbing oleh **Yamin Jinca** dan **Syamsu Alam**)

Penelitian ini bertujuan 1) mengetahui besarnya kesenjangan biaya pemanfaatan energi surya dan energi konvensional (PLN) sebagai catu daya penerangan jalan umum, 2) menganalisis layak tidaknya secara ekonomi pemanfaatan energi surya untuk catu daya penerangan jalan umum.

Penelitian ini bersifat deskriptif kuantitatif yang dilaksanakan di Jalan Lingkar Batavia-Penggoi Kota Palopo dengan data yang diperoleh dari observasi dan dokumentasi. Data dianalisis dengan menggunakan metode *study comparative* dan analisis kelayakan ekonomi dengan metode *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate Return (IRR)*, *Benefit Cost Ratio (BCR)*.

Hasil penelitian menunjukkan kesenjangan biaya yang besar pada penerangan jalan umum energi konvensional (PLN) dan biaya penerangan jalan umum energi surya khususnya pada biaya tarif tenaga listrik dan dengan metode analisis *Benefit Cost Ratio (BCR)* diperoleh kriteria keputusan < 1 yaitu 0,3165, sehingga penerangan jalan umum dengan energi surya tidak layak secara ekonomi.



ABSTRACT

IKA MASWATI. *Analysis of Economic Feasibility of Public Street Illumination by Solar Energy in Palopo City (supervised by Yamin Jinca and Syamsu Alam).*

The research aimed: (1) to find out the magnitude of the expenditure gap of the solar energy utilization and conventional energy (PLN) as the power ration of the public street illumination, (2) to analyse the feasibility and non-feasibility economically of the solar energy utilization for the power ration of the public street illumination.

This was a quantitative descriptive research which was carried out on the Ring Road of Batavia-Penggolf of Palopo City. Data were obtained from an observation and documentation. The data were analysed by using the comparative study method and the economic feasibility analysis with the Net Present Value (NPV) method, Internal rate Return (IRR), Benefit Cost Ratio (BCR).

The research result indicates that the great expenditure gap on the Public Street Illumination of the conventional energy (PLN) of the public street illumination of the solar energy particularly on the tariff expenditure of electric power. The analysis method of Benefit Cost Ratio (BCR) is obtained the termination criterion < 1 , i.e. 0.3166, so that the public street illumination with the solar energy is not economically feasible.



DAFTAR ISI

	halaman
PRAKATA	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian	6
E. Batasan Penelitian	6
F. Sistematika	7

II. TINJAUAN PUSTAKA	9
A. Matahari Sebagai Sumber Energi Surya	9
1. Proses Pemanfatan Energi Surya	9
2. Arus Energi Surya	11
3. Radiasi Matahari di Permukaan Bumi	11
4. Konversi Energi Fotovoltaik	13
B. Penerangan Jalan	15
1. Penerangan Jalan Umum	15
2. Sumber-sumber Penerangan Jalan	17
3. Pemilihan Jenis dan Kualitas Penerangan Jalan Umum	19
4. Pengontrolan Penerangan Jalan Umum	21
5. Penerangan Jalan Umum dengan Energi Surya	22
6. Komponen Penyusun Penerangan Jalan Energi Surya	24
C. Analisis Kelayakan Ekonomi	30
1. Pentingnya Analisis Kelayakan	30
2. Konsep Nilai Waktu Uang	31
3. Cash flow	33

4. Metode Ekuivalensi	34
5. Metode Analisis Kelayakan Ekonomi	36
D. Penelitian Terkait	44
E. Kerangka Konseptual	46
III.METODE PENELITIAN	47
A. Jenis Penelitian	47
B. Lokasi dan Waktu Penelitian	47
C. Bahan dan Alat	47
D. Jenis dan Sumber Data	47
E. Teknik Pengumpulan Data	48
F. Teknik Analisis Data	49
G. Definisi Operasional	50
IV. HASIL PENELITIAN dan PEMBAHASAN	54
A. Gambaran Umum Jalan Lingkar Kota Palopo	54
B. Tinjauan Beban pada Penerangan Jalan Umum	55
C. Analisis Ekonomi Penerangan Jalan Umum Energi Surya	56
D. Kesenjangan Biaya Penerangan Jalan Umum Energi Surya dan Energi Konvensional (PLN)	66

E. Analisis Kelayakan Ekonomi Penerangan Jalan Umum Energi Surya	75
V. KESIMPULAN dan SARAN	80
A. Kesimpulan	80
B. Saran	81
DAFTAR PUSTAKA	xvi
LAMPIRAN	81
1. Peta Udara Kota Palopo	81
2. Data Jalan Lingkar Tahun 2013	82
3. Jenis lampu penerangan jalan secara umum menurut karakteristik dan penggunaannya	83
4. Jarak antartiang lampu penerangan berdasarkan tipikal distribusi pencahayaan dan identifikasi lampu	84
5. Katalog PJU energi surya	85
6. Daftar Harga Bahan	86
7. Data Terbit Matahari untuk Kabupaten Kota Sulawesi dan Maluku Tahun 2013	87
8. Data Terbenam Matahari untuk Kabupaten Kota Sulawesi dan Maluku Tahun 2013	93
9. Tarif Tenaga Listrik untuk Keperluan Kantor Pemerintah dan Penerangan Jalan Umum	99

DAFTAR TABEL

Nomor	halaman
1. Jenis dan sumber data penelitian	51
2. Data kebutuhan listrik Penerangan Jalan Umum di Jalan Lingkar Timur (Batavia- Penggoli)	56
3. Harga komponen Penerangan Jalan Umum energi surya	65
4. Harga komponen Penerangan Jalan Umum PLN	66
5. Perbandingan Investasi dan umur teknis PJU konvensional (PLN) dengan PJU energi surya (sollar Cell)	70
6. Perbandingan biaya operasional dan pemeliharaan PJU energi surya dengan PJU konvensional	70
7. Perbandingan Tarif Tenaga Listrik PJU energi surya dan PJU PLN	72

DAFTAR GAMBAR

Nomor	halaman
1. Skema energi yang dimanfaatkan dari radiasi surya	9
2. Posisi bumi terhadap matahari	12
3. Panel sel surya	14
4. Penempatan lampu penerangan	20
5. Instalasi penerangan jalan dengan panel surya	24
6. Grafik <i>cash flow present</i> /uang sekarang dan <i>future</i> /uang akan datang	34
7. Grafik <i>cash flow annual</i> /tiap akhir periode	35
8. Potensi wisata pantai kota palopo	53
9. Kondisi jalan lingkaran timur batavia-penggoli kota palopo	54
10. Lampu LED	58
11. Modul sel surya jenis <i>polycrystalline</i>	59
12. Baterai sel surya jenis VRLA <i>deep cycle</i>	61
13. Controller sistem solar cell	62
14. Grafik kesenjangan biaya PJU konvensional (PLN) dengan PJU energi surya	74
15. Grafik <i>cash flow annual</i> investasi PJU energi surya	75

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	halaman
1. Peta udara kota palopo	81
2. Data Jalan Lingkar Tahun 2013	82
3. Jenis lampu penerangan jalan secara umum menurut karakteristik dan penggunaannya	83
4. Jarak antartiang lampu penerangan berdasarkan tipikal distribusi pencahayaan dan identifikasi lampu	84
5. Katalog PJU energi surya	85
6. Daftar harga bahan	86
7. Data terbit matahari untuk Kabupaten Kota Sulawesi dan Maluku Tahun 2013	87
8. Data terbenam matahari untuk Kabupaten Kota Sulawesi dan Maluku Tahun 2013	93
9. Tarif Tenaga Listrik untuk keperluan kantor pemerintah dan Penerangan Jalan Umum	99

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Jalan merupakan prasarana yang penting dalam kegiatan perekonomian. Tersedianya jalan yang berkualitas akan meningkatkan usaha pembangunan yang meningkatkan pertumbuhan perekonomian suatu daerah. Sampai dengan tahun 2011 panjang jalan di Kota Palopo adalah 398,476 km dengan permukaan aspal 264,727 km atau 66,43%, pengerasan/batu kerikil 113,549 km atau 28,50%, jalan tanah sepanjang 10,628 km atau 2,68%, lainnya sepanjang 9,511 km atau 2,39% dengan jenis permukaan beton, lapen, dan rabat. (BPS Kota Palopo, 2012)

Khusus untuk kawasan jalan Lingkar Timur Batavia-Penggoli dari total panjang rencana sepanjang 2,35 km, panjang jalan lingkar yang sudah terbangun 1,85 km berupa aspal dan sisanya 0,5 km masih berupa jalan tanah (Dinas PU Kota Palopo, 2013). Untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi yang nyata, serta didorong oleh kebutuhan infrastruktur kota yang memadai akibat peningkatan aktifitas dan pertumbuhan kota, maka Pemerintah Kota Palopo mulai mengembangkan kawasan Jalan Lingkar Timur Kota Palopo sebagai kawasan wisata. Pengembangan Kawasan Jalan Lingkar Timur Kota Palopo sesuai dengan tujuannya diharapkan dapat menarik minat pengunjung untuk melakukan kegiatan wisata, dengan segala aktifitas dan atraksi wisata yang terdapat di dalamnya

khususnya wisata kuliner yang dewasa ini mengalami perkembangan yang cukup pesat.

Untuk dapat mengimbangi perkembangan tersebut, tentunya perlu diimbangi dengan pengembangan sarana prasarana jalan dalam hal ini sarana penerangan jalan umum yang sampai sekarang belum tersedia. Penerangan jalan umum merupakan sarana yang sangat penting karena sangat berpengaruh pada tingkat kelancaran lalu lintas, keamanan, dan kenyamanan apalagi untuk sebuah kota besar yang diketahui selama ini penerangan jalan umum memanfaatkan energi listrik dalam menjalankan fungsinya.

Penggunaan energi listrik akan terus meningkat seiring dengan semakin meningkatnya kualitas hidup dan peradaban manusia, sehingga tuntutan untuk menjamin ketersediaan energi listrik menjadi sebuah keharusan. Berdasarkan Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia 2011-2025, pengembangan kegiatan ekonomi utama Koridor Ekonomi membutuhkan dukungan dari sisi energi. Penambahan kebutuhan energi listrik di Indonesia hingga tahun 2025 diproyeksikan mencapai sekitar 90.000 MW (dalam kondisi beban puncak). Sejalan dengan meningkatnya kebutuhan akan energi listrik, cadangan minyak bumi yang merupakan *supply* bahan bakar fosil dari energi listrik PLN sebagai perusahaan pemasok energi listrik di Indonesia semakin tahun semakin menipis. Diketahui untuk tahun 2008 total cadangan minyak bumi yang terbukti dan potensial 8,22 milyar barel,

selanjutnya terus mengalami penurunan sampai tahun 2011 sebesar 7,73 milyar barel dengan harga yang naik pula tiap tahunnya (www.esdm.go.id, diakses 14 Nopember 2012). Sebagai konsekuensinya pemerintah dalam hal ini PT.PLN menaikkan Tarif Dasar Listrik untuk menunjang tingginya biaya produksi listrik akibat dari naiknya harga bahan bakar minyak tersebut.

Sementara itu, setiap harinya manusia menikmati hangatnya sinar matahari. Sebagai negara tropis, setiap hari sinar matahari menyinari Indonesia. Energi surya (energi matahari) adalah salah satu jenis sumber energi energi terbarukan (*renewable energy*) yang dijumpai dalam sistem galaksi yang menghasilkan energi sepanjang usia matahari. Energi matahari berpotensi besar menjadi energi listrik. Dalam pemanfaatan energi matahari digunakan larik fotovoltaik yang mengkonversikan secara langsung energi matahari menjadi energi listrik. Manfaat penggunaan energi alternatif tenaga surya adalah energi yang dihasilkan paling besar dan paling murah (hemat) di alam ini serta tidak menimbulkan polusi lingkungan. Dikatakan murah karena manusia tidak perlu membeli untuk mendapatkan energi matahari itu.

Berdasarkan data Kementrian Energi dan Sumber Daya Alam perkembangan energi surya sebagai energi terbarukan dari tahun 2005 sampai tahun 2010 terus mengalami peningkatan (data terlampir). Kapasitas terpasang untuk energi listrik solar cell di Indonesia untuk pulau Sulawesi merupakan pulau ke dua terbesar yang mengalami peningkatan

setelah Pulau Jawa yaitu sampai tahun 2009 sebesar 2,85 MWp. (www.esdm.go.id, diakses 14 Nopember 2012).

Berdasarkan pertimbangan ini, nampaknya konversi fotovoltaik dari sinar matahari menjadi energi listrik akan menjadi sumber energi utama dimasa mendatang khususnya bila sumber-sumber energi konvensional (batubara, minyak bumi, dan gas bumi) sudah habis dalam penggunaannya. Didukung oleh PERPRES No.5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional tentunya merupakan kondisi yang positif dan momentum yang tepat bagi seluruh komponen bangsa terkait, untuk segera memikirkan dan mengambil langkah serius guna pengembangan sumber energi alternatif masa depan sebagai upaya pengembangan pembangunan berkelanjutan dalam hal ini keberlanjutan energi (*sustainability energy*).

Selain itu harga sumber energi konvensional akan terus semakin tinggi dan persediaannya juga semakin lama sangat terbatas, sedangkan harga fotovoltaik berangsur-angsur akan turun karena bahan bakunya melimpah di bumi ini. Selanjutnya energi listrik yang dihasilkan dari fotovoltaik, dapat digunakan untuk berbagai penggunaan termasuk penerangan jalan umum.

Penerangan jalan umum dengan energi surya ini perlahan bisa mengubah opini tentang ketergantungan terhadap energi gas, dan minyak bumi yang tarifnya semakin tinggi. Olehnya itu dianggap perlu untuk

mengetahui layak tidaknya secara ekonomi energi surya sebagai *mean supply* untuk penerangan jalan umum khususnya di Jalan Lingkar Timur Batavia-Penggoli Kota Palopo.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang di atas maka permasalahan yang dapat dirumuskan dalam penelitian ini yaitu:

1. Seberapa besar kesenjangan biaya pemanfaatan energi surya dan energi konvensional (PLN) sebagai catu daya Penerangan Jalan Umum.
2. Bagaimana kelayakan ekonomi pemanfaatan energi surya untuk catu daya Penerangan Jalan Umum di Jalan Lingkar Timur Penggoli-Batavia Kota Palopo.

C. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis besarnya kesenjangan biaya pemanfaatan energi surya dan energi konvensional (PLN) sebagai catu daya Penerangan Jalan Umum.
2. Menganalisis layak tidaknya secara ekonomi pemanfaatan energi surya untuk catu daya Penerangan Jalan Umum di Jalan Lingkar Timur Penggoli-Batavia Kota Palopo.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Sebagai bahan masukan dan pertimbangan dalam upaya penyediaan energi alternatif pada Penerangan Jalan Umum untuk Pemerintah Kota Palopo dalam hal ini Dinas Pekerjaan Umum, Badan Lingkungan Hidup, UPTD PJU Kota Palopo, dan Dinas Tata Ruang mengenai peluang pemanfaatan energi surya untuk catu daya penerangan jalan umum di Jalan Umum Kota Palopo.
2. Diharapkan penelitian ini mendukung pengembangan prasarana jalan yang berwawasan lingkungan melalui energi yang berkelanjutan (*sustainability energy*).
3. Penelitian ini diharapkan menjadi motivasi dan inspirasi untuk dapat mewujudkan penggunaan energi surya untuk catu daya penerangan jalan umum.

E. Batasan Penelitian

Agar pembahasan ini tidak meluas dan dapat terarah sesuai dengan tujuan penelitian, maka diberikan batasan-batasan masalah yang meliputi hal-hal sebagai berikut:

1. Perhitungan ekonomi meliputi biaya investasi, biaya operasional dan pemeliharaan penerangan jalan umum menggunakan energi surya dan energi listrik konvensional dari PLN.

2. Perhitungan analisis ekonomi meliputi biaya investasi, biaya operasional dan pemeliharaan, serta menentukan layak tidaknya penerapan penerangan jalan umum menggunakan energi surya.

F. Sistematika

Agar pembahasan ini dapat dipahami dengan mudah, maka diberikan sistematika penelitian sebagai berikut:

- Bab I : Merupakan bagian pendahuluan yang berisi uraian latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan penelitian dan sistematika.
- Bab II : Membahas tentang tinjauan pustaka yang memuat tentang teori matahari sebagai sumber energi, penerangan jalan umum beserta penerangan jalan umum dengan energi surya, analisis kelayakan ekonomi, beberapa penelitian terdahulu terkait dengan analisis kelayakan ekonomi penerangan jalan umum dengan energi surya, serta kerangka konseptual dalam menjawab rumusan masalah pada Bab I.
- Bab III : Merupakan bab metode penelitian yang memuat jenis penelitian, lokasi dan waktu penelitian, bahan dan alat

yang digunakan selama meneliti, jenis dan sumber data yang diperoleh dalam mendukung penelitian, teknik pengumpulan data, serta teknik analisis data.

Bab IV : Merupakan bab tentang hasil penelitian berupa perencanaan sistem penerangan jalan umum dengan energi surya, perencanaan biaya investasi, biaya operasional dan perawatan penerangan jalan umum dengan energi konvensional (PLN) dan energi surya, serta pembahasan berupa kesenjangan/perbandingan penerangan jalan umum dengan PLN dan energi surya, analisis kelayakan ekonomi penerangan jalan umum dengan energi surya berlandaskan teori pada bab II.

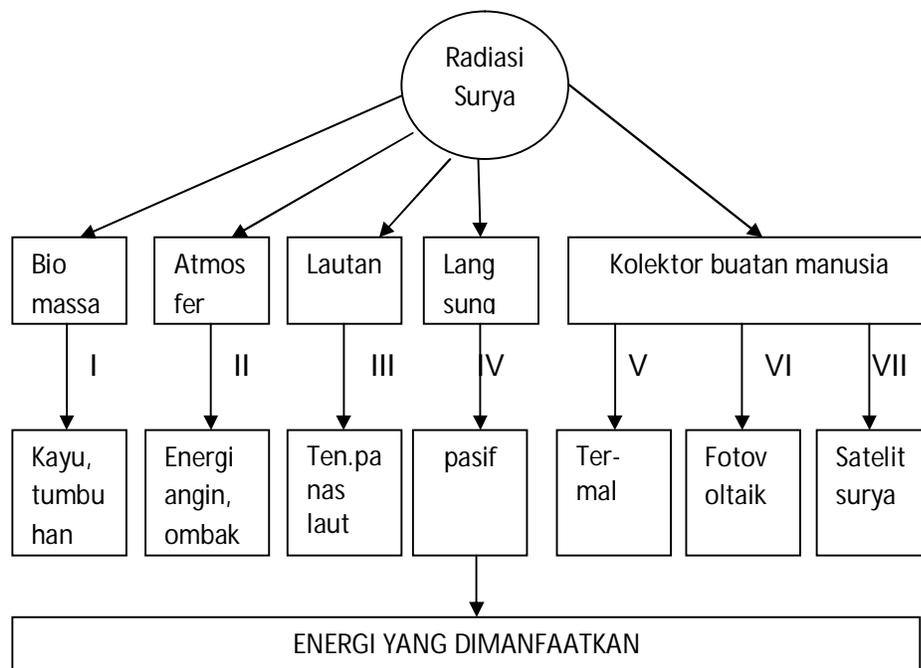
Bab V : Menguraikan kesimpulan dari uraian Bab IV dan saran sebagai pertimbangan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Matahari Sebagai Sumber Energi Surya

1. Proses Pemanfaatan Energi Surya



Gambar 1. Skema energi yang dimanfaatkan dari radiasi surya (Abd.Kadir, 2006)

Berdasarkan Abd.Kadir (2006), gambar 1 secara skematis menunjukkan energi asal radiasi surya yang mencapai bumi dan yang melalui berbagai proses, baik alamiah maupun bantuan manusia. Pada proses I sinar matahari ditangkap oleh daun-daun tumbuh-tumbuhan, yang dikumpul dalam bentuk kayu dan *biomassa*, energi yang terkumpul tersebut dimanfaatkan oleh manusia.

Proses II menunjukkan radiasi surya yang memanasi atmosfer sehingga terjadi perpindahan udara berupa angin dan arus pancar. Pada proses III lautan dipanaskan. Disini terjadi dua hal, pertama air naik dalam bentuk uap menjadi awan kemudian turun digunung dan air mengalir di sungai yang merupakan potensi tenaga air. Lapisan laut sebelah atas lebih panas dibandingkan lapisan bawahnya. Panas ini dimanfaatkan dengan cara konversi energi panas di lautan.

Pada proses IV panas matahari dimanfaatkan secara langsung, sebagaimana misalnya pada proses menjemur pakaian, atau membuat garam seperti yang telah lama dilakukan manusia. Pada proses V, VI, dan VII pemanfaatan panas matahari dilakukan dengan kolektor buatan manusia. Dengan kolektor dimaksud suatu alat untuk menangkap dan mengumpulkan sinar matahari. Pada proses V energi dari kolektor biasanya dimanfaatkan untuk memanaskan air. Air yang panas tersebut dapat dimanfaatkan atau melalui proses uap maupun cara lain yang dijadikan tenaga listrik.

Proses VI sinar matahari melalui prinsip fotovoltaik diubah langsung menjadi tenaga listrik. Pada proses VII, digunakan sebuah satelit surya yang beredar dalam suatu orbit di atas bumi untuk menangkap radiasi matahari dan mengubahnya menjadi pancaran gelombang mikro, yang dikirim ke stasiun bumi. Stasiun bumi ini mengubah pancaran gelombang mikro ini menjadi tenaga listrik, yang selanjutnya ditransmisikan dan didistribusikan secara konvensional ke konsumen.

2. Arus Energi Surya

Dalam arti yang luas, sumber energi surya atau tenaga matahari bukan hanya terdiri atas pancaran matahari langsung ke bumi, melainkan juga meliputi efek-efek matahari tidak langsung seperti tenaga angin, tenaga air, panas laut, dan bahkan termasuk *biomassa* yang dapat memanfaatkan sebagai sumber energi. (Abd.Kadir, 2006)

Energi surya yang memasuki atmosfer bumi dengan kepadatan yang diperkirakan sebesar 1 hingga 1,4 kW/m² dengan arah tegak lurus terhadap poros sinar. Dari jumlah tersebut 34% dipantulkan kembali ke ruang angkasa. Sebagian yang diperkirakan sebesar 19% diserap atmosfer yaitu oleh komponen-komponen yang terdapat di udara seperti karbon dioksida (CO₂), debu, dan awan. Energi surya yang selebihnya, yaitu lebih kurang 47% diserap oleh bumi (atau lebih kurang 0,564 kW/m²) yang diserap bumi. Dari angka perkiraan tersebut radiasi surya secara potensial di Indonesia sebesar $1,12 \times 10^8$ MW. (Abd.Kadir, 2006)

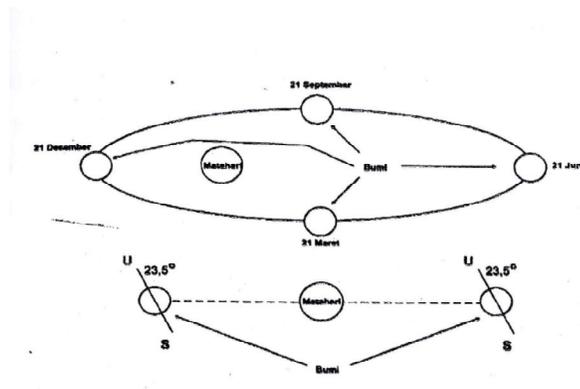
3. Radiasi Matahari di Permukaan Bumi

Planet bumi hampir berbentuk bulat dengan jari-jari 6370 km. Waktu yang diperlukan untuk sekali berotasi pada sumbunya adalah 24 jam dan waktu yang diperlukan untuk sekali berevolusi terhadap matahari adalah 365 hari.

Bumi mengelilingi matahari dengan lintasan yang berbentuk elips dengan matahari terletak pada salah satu focus. Pada tanggal 21

Desember posisi bumi berada terdekat dengan matahari (aphelion). Perbedaan jarak tersebut berkisar $\pm 3,3\%$, karena intensitas radiasi matahari diluar atmosfer bumi berbanding terbalik dengan jarak bumi dan matahari, maka pada akhir Desember bumi menerima radiasi 7% dibanding dengan penerimaan radiasi pada akhir juni.

Sumbu rotasi bumi miring $23,45^\circ$ terhadap orbitnya sewaktu sekelilingnya matahari sehingga memengaruhi perhitungan jumlah distribusi radiasi matahari, pada perubahan waktu siang dan malam serta pergantian musim. (D. Sitompul, 1996)



Gambar 2. Posisi bumi terhadap matahari (D. Sitompul, 1996)

Menurut DR. Harijono Djodiharjo (1983) karakteristik cuaca di Indonesia didukung oleh letak dan bentuk wilayahnya. Berdasarkan letak dan bentuk wilayahnya, secara umum dapat dikatakan:

1. Indonesia dipengaruhi iklim tropis, karena letak astronominya diantara 6° LU dan 11° LS yang berarti Indonesia berada pada garis khatulistiwa.

2. Indonesia dipengaruhi oleh iklim musim kemarau dan musim hujan karena letak geografisnya diantara dua benua dan dua samudera luas serta diantara garis balik utara $23\frac{1}{2}$ LU dan garis balik selatan $23\frac{1}{2}$ LS.
3. Indonesia dipengaruhi iklim laut karena bentuk wilayahnya berupa kepulauan dengan wilayah lautnya seluas 70 %. Berlakunya iklim musim di Indonesia menyebabkan berpengaruhnya cuaca musiman. Cuaca musim hujan sedikit lebih tinggi jika dibandingkan dengan cuaca musim kemarau.

4. Konversi Energi Fotovoltaik

Menurut Abd.Kadir (2006) matahari melepaskan energi dalam jumlah yang sangat besar radiasi elektromagnetik. Radiasi elektromagnetik ini memiliki dualisme sifat, yaitu sebagai gelombang dan partikel. Sebagai partikel radiasi matahari berinteraksi dengan materi, hal ini disebut foton. Foton inilah yang dimanfaatkan untuk keperluan catu daya listrik melalui sel fotovoltaik pada konversi energi fotovoltaik. Energi radiasi surya dapat diubah menjadi arus listrik searah dengan menggunakan lapisan-lapisan tipis dari silikon (Si) murni atau bahan semikonduktor lainnya. Sel-sel silikon itu kemudian dipasang dalam sebuah panel, yang terdiri atas sebuah bingkai aluminium atau baja tahan karat. Gambar dibawah ini memperlihatkan bentuk sebuah panel surya.



Gambar 3. Panel sel surya (www.dynton.com/tentang-plts.html,
17 Maret 2013)

Bilamana sel –sel silikon terkena sinar matahari, maka foton-foton yang mendarat sekitar sambungan P-N akan menghasikan pasangan-pasangan elektron-lubang. Elektron-elektron akan cenderung untuk bergerak ke arah silikon tipe N, sedangkan lubang akan cenderung untuk bergerak ke arah daerah bermuatan positif. Bilamana wilayah N (negatif) dan wilayah P (positif) diberi sambungan listrik, maka akan mengalir arus listrik dalam sambungan tersebut.

Dengan sendirinya besarnya arus listrik, atau tenaga listrik diperoleh, tergantung dari jumlah energi cahaya yang mencapai sel-sel silikon ini, dan tergantung juga dari luas permukaan sel-sel itu.(Abd.Kadir, 2006)

B. Penerangan Jalan

1. Penerangan Jalan Umum

Penerangan jalan merupakan bagian dari bangunan pelengkap jalan yang dapat diletakkan atau dipasang di kiri/kanan jalan dan atau 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. (Departemen Pekerjaan Umum, 2008). Penerangan jalan tidak hanya berkaitan dengan kebutuhan pengemudi saja, namun juga diperlukan oleh masyarakat pada umumnya. (F.D.Hobbs, 1995). Penerangan jalan mempunyai 2 fungsi pokok yaitu fungsi keamanan dan fungsi ekonomi, keamanan pengguna jalan berkaitan dengan kuat penerangan sesuai dengan kecepatan kendaraan, serta kerataan penerangan pada bidang lain sedangkan fungsi ekonomi jalan berkaitan dengan distribusi barang (termasuk kelancaran distribusi barang). (Muhaimin, 2001)

Sedangkan berdasarkan Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum (2008), 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 pada malam hari;

- 4) Mendukung keamanan lingkungan;
- 5) Memberikan keindahan lingkungan jalan.

Berdasarkan Muhaimin (2001), penerangan jalan mempertimbangkan 6 aspek, yaitu:

- a. Kuat rata-rata penerangan. Besarnya kuat penerangan didasarkan pada kecepatan maksimal yang diizinkan terhadap kendaraan yang melaluinya.
- b. Distribusi cahaya. Kerataan cahaya pada jalan sangat penting, untuk itu ditentukan faktor kerataan cahaya yang merupakan perbandingan kuat penerangan pada bagian tengah lintasan kendaraan dengan pada tepi jalan.
- c. Cahaya yang menyilaukan dapat menyebabkan keletihan mata, perasaan tidak nyaman, kemungkinan kecelakaan.
- d. Arah pancarah cahaya dan pembentukan bayangan. Sumber penerangan untuk jalan umum dipasang menyudut 5° hingga 15° .
- e. Warna dan perubahan warna. Warna cahaya lampu pelepasan gas tekanan tinggi (khususnya lampu merkuri) berpengaruh terhadap warna tertentu, misalnya warna merah.
- f. Lingkungan, berkabut maupun berdebu mempunyai faktor absorpsi terhadap cahaya yang dipancarkan oleh lampu.

2. Sumber- sumber Penerangan Jalan

Menurut F.D.Hobbs (1995), ada dua tipe utama sumber penerangan jalan, yaitu berupa lampu pijar dan tabung pancaran/*discharge*. Lampu pijar biasanya menggunakan filamen-filamen tungsten pada tabung yang berisi gas. Lampu ini murah pembuatannya dan tidak membutuhkan alat kontrol tambahan, tetapi kelemahannya ialah ketidakawetan lampu ini dan efisiensinya rendah. Gas-gas yang tanpa mengandung kimia yang relatif aktif, seperti Nitrogen dan Argon, banyak dipergunakan dan laju penguapan filamen menurun dengan adanya peningkatan tekanan. Manfaat filamen yang berupa koil dapat mengurangi kehilangan panas terhadap gas tersebut. Karena kinerjanya yang kurang baik, maka sumber cahaya lampu pijar hanya cocok untuk penerangan daerah permukiman yang tidak membutuhkan pengeluaran dana yang besar. Untuk memperoleh intensitas cahaya yang lebih tinggi telah dikembangkan quartz-iodine yang mampu menghasilkan cahaya 20% lebih baik dan tetap dapat mempertahankan hasil ini pada usia dua kali ekuivalen dengan lampu yang berisi gas.

Lampu-lampu pancaran yang memancarkan radiasi dalam spektrum yang dapat dilihat, seperti uap merkuri dan uap sodium pada tekanan yang bervariasi, dan jenis lain berupa tipe fluoresken dengan radiasi pada daerah ultraviolet. Perubahan tekanan dan temperatur akan mempengaruhi keluaran cahaya, panjang gelombang dan pancarannya.

Pancaran pada sebuah gas tergantung pada ionisasi atom dan, untuk pancaran agar dapat bekerja, perbedaan tegangan harus diberikan pada sirkuit. Proses awal ini harus dibantu dengan menggunakan gas pembangkit, argon (berasal dari uap merkuri) dan neon (berasal dari uap sodium), elektroda yang diaktifkan oleh panas, dan elektroda-elektroda tambahan. Berbagai jenis gas dipakai untuk menentukan warna cahaya, misalnya neon-merah; nitrogen-kuning muda; sodium-kuning; merkuri-biru. Disamping kebutuhan metode eksternal yang memengaruhi kebutuhan voltase awal pada sirkuit, metode-metode khusus harus dipakai untuk membatasi dan menstabilkan arus, jika tidak maka sumber cahaya tersebut dapat rusak sendiri.

Lampu fluoresen adalah tabung-tabung pancaran yang berisi uap merkuri bertekanan rendah yang memancar terutama pada wilayah ultraviolet. Dengan melapisi tabung pancaran dengan bahan fluoresen yang cukup, yaitu kalsium halophosphat, radiasi ultraviolet secara bersamaan dipancarkan keseluruh panjang gelombang menerus dalam spektrum yang terlihat. Sifat –sifat ini dapat pula dipakai pada lampu merkuri berwarna yang timbul pada emisi cahaya. Meskipun sumber pancaran lebih efisien dan mempunyai umur pakai yang lebih lama dibanding dengan tipe lampu pijar, biaya tambahan diperlukan untuk pembuatannya, disamping untuk kebutuhan alat-alat tambahan dan pemasangan sirkuitnya.

Kehilangan cahaya pada sumber penerangan jalan dipengaruhi 2 faktor (Muhaimin, 2001) yaitu:

- a. Penurunan kemampuan sumber penerangan karena umur pemakaian.
- b. Pengotoran terhadap armaturnya, dapat disebabkan pengotoran maupun perubahan sifat penutup armatur.

3. Pemilihan Jenis serta Kualitas Penerangan Jalan Umum

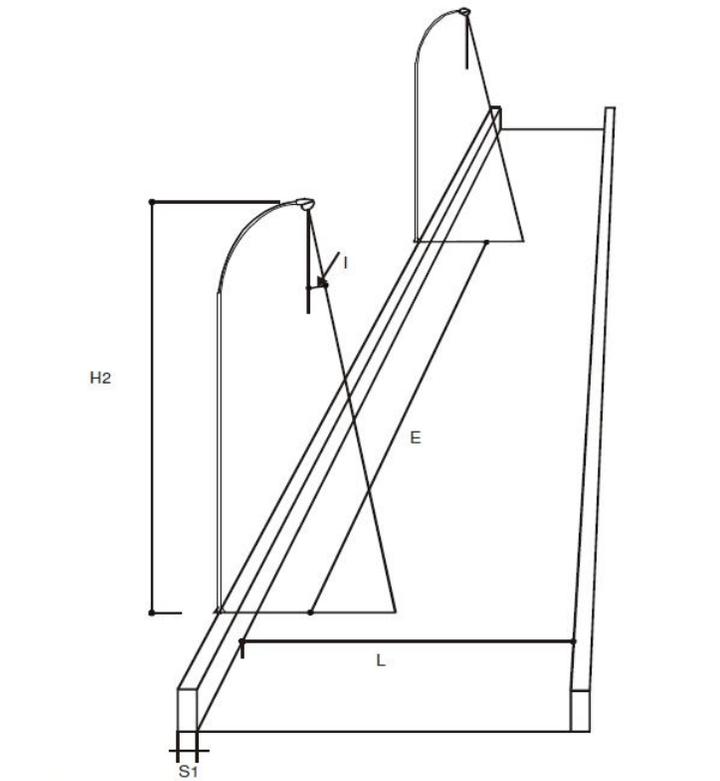
Berdasarkan Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum (2008), pemilihan jenis dan kualitas lampu penerangan jalan didasarkan pada :

- 1) Nilai efisiensi (tabel terlampir);
- 2) Umur rencana;
- 3) Kekontrasan permukaan jalan dan obyek.

Jenis lampu penerangan jalan ditinjau dari karakteristik dan penggunaannya berupa lampu tabung *fluorescent* dengan tekanan rendah memiliki efisiensi rata-rata 60 – 70 lumen/watt dengan umur rencana rata-rata 8000-10.000 jam dan daya 18-20, 36-40 watt. Jenis ini memiliki pengaruh sedang terhadap objek warna, cocok untuk jalan kolektor dan lokal, efisiensi cukup tinggi tetapi berumur pendek, dan masih dapat digunakan untuk hal-hal terbatas. Secara umum dapat dilihat pada tabel terlampir.(Departemen Pekerjaan Umum, 2008)

Batasan penempatan penerangan jalan tergantung dari tipe lampu, tinggi lampu, lebar jalan dan tingkat pemerataan pencahayaan dari lampu

yang akan digunakan. Jarak antarlampu penerangan secara umum dapat mengikuti batasan seperti pada tabel terlampir. (Departemen Pekerjaan Umum, 2008)



- Keterangan:
- H_2 = tinggi tiang lampu
 - L = Lebar badan jalan, termasuk median jika ada
 - E = Jarak interval antarlampu
 - S_1 = jarak tiang lampu ke tepi kereb
 - I = sudut inklinasi pencahayaan

Gambar 4. Penempatan lampu penerangan
(Departemen Pekerjaan Umum, 2008)

4. Pengontrolan Penerangan Jalan Umum

Penyalan dan pemadaman penerangan jalan yang efisien pada waktu yang tepat sangat penting jika ingin memberikan pelayanan yang memuaskan (F.D.Hobbs , 1995). Pengontrolan satu persatu lampu biasanya mahal tetapi kadang diperlukan. Hal ini dapat diatasi dengan penggunaan saklar mekanis ataupun saklar elektronik yang disinkronisasikan. Saklar fotoelektrik kadang-kadang juga dipakai dalam pengontrolan lampu. Daerah kecil, dengan beberapa kelompok lampu-lampu dapat dikontrol dengan sebuah induk pengatur waktu atau sakelar fotoelektrik. Pada rancangan-rancangan lebih besar lainnya dapat dipergunakan sistem Cascade yaitu kumpulan cahaya dihubungkan dengan loop dengan menggunakan kabel terpisah yang dihubungkan dengan pasokan listrik melalui suatu kontak.

Cara konvensional atau sering pula disebut kontrol *ripple* membutuhkan daya yang besar. Sebuah pemancar (*transmitter*) dipakai untuk meneruskan pancaran kode pesan yang mengaktifkan penerima terhadap pengoperasian penerangan. Sistem otomatis ini meniadakan kebutuhan untuk mengatur kembali (*reset*) pencatat waktu setelah kesalahan terjadi dan bila dibandingkan dengan sakelar fotoelektrik dan saklar waktu, sistem ini lebih ekonomis dan dapat diandalkan.

5. Penerangan Jalan Umum dengan Energi Surya

Penerangan Jalan Umum energi surya adalah penerangan jalan yang menggunakan cahaya matahari sebagai sumber energi listriknya (www.forum.vivanews.com/iptek, diakses 29 Maret 2012). Penerangan Jalan Umum energi surya sangat cocok digunakan untuk jalan-jalan di daerah-daerah yang belum terjangkau oleh listrik PLN dan juga daerah-daerah yang mengalami krisis energi listrik terutama di daerah terpencil. Namun belakangan ini Penerangan Jalan Umum energi surya juga marak diaplikasikan di daerah perkotaan seperti di kawasan jalan-jalan utama, jalan kawasan perumahan, halte bis, tempat parkir, pompa bensin (SPBU) dan sebagainya.

Penerangan jalan energi surya merupakan sebuah alternatif yang murah dan hemat untuk digunakan sebagai sumber listrik penerangan karena menggunakan sumber energi gratis dan tak terbatas dari alam yaitu energi matahari. Menggunakan modul/Panel Surya dengan *lifetime* hingga 25 tahun yang berfungsi menerima cahaya (sinar) matahari yang kemudian diubah menjadi listrik melalui proses *photovoltaic*, penerangan jalan energi secara otomatis dapat mulai menyala pada sore hari dan padam pada pagi hari dengan perawatan yang mudah dan efisien.

Ada beberapa keunggulan Penerangan Jalan Umum dengan energi surya yaitu:

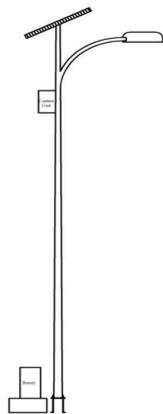
- a. Mandiri, dikatakan mandiri karena tidak memerlukan kabel jaringan antartiang sehingga mampu menghemat biaya investasi jaringan listrik, dan tentunya dapat terhindar dari *black out* total jika terjadi gangguan.
- b. Sederhana (*simple*), penerangan jalan energi surya memiliki desain yang *simple & compact*, yaitu keseluruhan sistem (kelistrikan, kontrol, dan penerangan) berada dalam tiang. Cukup dengan menghadapkan modul surya tepat kearah matahari, maka akan tersedia listrik untuk menghidupkan lampu sepanjang malam.
- c. Minim Perawatan, penerangan jalan energi surya memiliki komponen-komponen yang bebas perawatan dan tahan lama. Komponen seperti Modul Surya, BCR, Inverter dan Lampu pada dasarnya tidak memerlukan perawatan. Sedangkan komponen Battery yang dipakai adalah *Free Maintenance* sehingga bebas perawatan selama jangka waktu tertentu.
- d. Tahan Lama, usia pakai modul surya bisa mencapai 20 tahun lebih, sementara komponen elektroniknya dapat mencapai usia pakai 5 tahun. Baterai pada kondisi normal bisa mencapai usia pakai maksimal 3 tahun.

Disamping keunggulan ada juga beberapa kelemahan Penerangan Jalan Umum dengan energi surya yaitu:

1. Masih relatif mahal, dianggap mahal karena teknologi ini dalam pembuatan peralatan/perlengkapan instalasi solar cell masih membeli ke luar negeri.
2. Sangat tidak efisien jika dikembangkan di daerah yang berpolusi. Polusi juga menjadi faktor yang menghambat pengembangan teknologi ini karena dapat mengurangi intensitas cahaya yang dapat diterima oleh panel solar cell sehingga energi yang dihasilkan relatif kecil.

6. Komponen Penyusun Penerangan Jalan Energi Surya

Penerangan Jalan Umum dengan energi surya yang dapat beroperasi dengan baik diperlukan beberapa komponen-komponen penyusun utama seperti terlihat pada gambar dibawah:



Gambar 5. Instalasi penerangan jalan dengan panel surya
(www.wikipedia.org/wiki/, 29 Maret 2012)

a. Modul Sel Surya (*Solar Cell*)

Sel surya disusun dengan menggabungkan silikon jenis p dan jenis n. Silikon jenis p adalah silikon yang bersifat positif akibat dari kekurangan elektron sedangkan silikon jenis n adalah silikon yang bersifat negative akibat dari kelebihan electron ketika menerima (dikenai) radiasi surya (berupa foton) pada keduanya (silikon jenis p dan n) terbentuk positif (*hole*) dan negative (*electron*). Hal ini menyebabkan terciptanya pengkutuban (polarisasi) dimana *hole* bergerak menuju silikon jenis n. dengan menyambungkan kedua jenis silikon (jenis p dan jenis n) melalui suatu penghantar luar maka terjadi beda potensial antara keduanya dan mengalirkan arus searah. Menurut Abd.Kadir, 2006 yang perlu diperhatikan dari model sel surya yaitu:

- 1) Kapasitas sel surya, ditentukan oleh keseimbangan daya yang dihasilkan dan daya yang disuplai ke beban;
- 2) Luas array sel surya.

Modul fotovoltaik perlu disusun sedemikian rupa sehingga diperoleh kondisi yang diinginkan. Untuk memperoleh tegangan yang sesuai, modul fotovoltaik perlu dihubung seri, sedangkan untuk memperoleh arus yang sesuai modul fotovoltaik perlu dihubung paralel.

Ada beberapa jenis panel solar cell yang banyak diaplikasikan di Indonesia (www.esdm.go.id, diakses 7 Juni 2013):

1. Monokristal (*Mono-crystalline*)

Jenis ini dalam perkembangannya mampu menghasilkan efisiensi yang sangat tinggi. Masalah terbesar yang dihadapi dalam pengembangan silikon kristal tunggal untuk dapat diproduksi secara komersial adalah harga yang sangat tinggi sehingga membuat panel solar cell yang dihasilkan menjadi tidak efisien sebagai sumber energi alternatif. Sebagian besar silikon kristal tunggal komersial memiliki efisiensi pada kisaran 16-17 %, bahkan silikon solar cell hasil produksi Sun Power memiliki efisiensi hingga 20 %.

Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan. (www.renewableenergy.com, diakses 7 Juni 2013)

2. Polikristal (*Poly-crystalline*)

Saat ini, hampir sebagian besar panel solar cell yang beredar di pasar komersial berasal dari screen printing jenis silikon poli kristal ini. Jenis ini dibuat dengan cara membuat lapisan-lapisan tipis dari batang silikon dengan metode *wire-*

sawing dan memiliki harga pembuatan yang lebih murah meskipun tingkat efisiensinya lebih rendah jika dibandingkan dengan silikon kristal tunggal.

Kedua jenis panel solar cell wafer diatas dikenal sebagai generasi pertama yang dalam perkembangannya telah mampu mencapai usia aktif 25 tahun. Generasi kedua solar cell adalah solar cell tipe lapisan tipis (*thin film*). Ide pembuatan jenis solar cell lapisan tipis adalah untuk mengurangi biaya pembuatan solar cell mengingat tipe ini hanya menggunakan kurang 1 % dari bahan baku silikon jika dibandingkan dengan bahan baku untuk tipe silikon wafer. Dengan penghematan yang tinggi pada bahan baku seperti itu membuat harga per KWh energi yang dibangkitkan menjadi bisa lebih murah.

Efisiensi tertinggi saat ini yang bisa dihasilkan oleh jenis solar sel lapisan tipis adalah sebesar 19.5%. Keunggulan lainnya adalah semikonduktor sebagai lapisan solar cell bisa dideposisi pada substrat yang lentur sehingga menghasilkan divais solar sel yang fleksibel. Generasi ketiga dari jenis solar cell ini yaitu tipe solar cell polimer atau disebut juga dengan solar cell organik dan tipe solar cell foto elektrokimia. Solar cell organik dibuat dari bahan semikonduktor organik seperti polyphenylene vinylene dan fullerenes.

Berbeda dengan tipe solar cell generasi pertama dan kedua yang menjadikan pembangkitan pasangan elektron dan hole dengan

datangnya photon dari sinar matahari sebagai proses utamanya, pada solar cell generasi ketiga ini photon yang datang tidak harus menghasilkan pasangan muatan tersebut melainkan membangkitkan exciton. Exciton inilah yang kemudian berdifusi pada dua permukaan bahan konduktor (yang biasanya direkatkan dengan organik semikonduktor berada di antara dua keping konduktor) untuk menghasilkan pasangan muatan dan akhirnya menghasilkan efek arus foto (*photocurrent*). Kelemahan jenis solar cell ini yaitu memiliki masalah besar dalam hal efisiensi dan usia aktif sel yang masih terlalu singkat.

b. Universal Charge Controller (UCC)

Fungsi dari control ini adalah untuk mengontrol aliran arus dari susunan modul sel surya ke pengisian baterai dan melindungi baterai dari tingkat pengisian yang diperbolehkan, mencegah dari kejadian pengisian berlebihan ataupun kekurangan. Karena ini akan mengakibatkan kerusakan pada baterai, selanjutnya karakteristik bisa menurun, ini berarti memperpendek umur baterai. Saat ini telah ada sistem control yang ampuh, mampu mengontrol fungsi control sistem secara keseluruhan.

Alat ini juga memiliki kemampuan untuk melihat tegangan dan kapasitas dari baterai pada saat baterai discharge (baterai mensuplai beban) pada saat malam hari. Jika tegangan dan atau kapasitas baterai diluar batas kemampuan, maka charge controller akan

memutus beban sehingga baterai tidak terbebani dengan kondisi minimum kapasitas.

c. Inverter

Pada prinsipnya, fotovoltaik menghasilkan arus DC. Bila arus yang dibutuhkan arus AC, maka dapat dipenuhi dengan memasang suatu alat pengubah, peralatan elektronik yang bekerja sangat efisien, disebut "inverter". Pemilihan ukuran inverter yang tepat, memungkinkan inverter tersebut memiliki kapasitas yang cukup untuk menahan (menerima) beban yang terjadi. Pemilihan inverter diharapkan memiliki regulasi yang baik, distorsi harmonic yang rendah, keandalan yang tinggi.

d. Baterai

Terdapat banyak tipe Baterai penyimpan muatan yang berbeda-beda di pasaran. Memilih tipe baterai untuk sebuah sistem tertentu perlu memperhatikan segi fisik maupun segi kimianya yang membentuk karakteristik baterai tersebut, diantaranya:

1) Tegangan yang diisyaratkan

Tegangan baterai harus stabil, mengingat arus listrik yang mengalir ke beban bervariasi langsung dengan tegangan. Sebuah baterai tidak boleh memberikan tegangan yang cukup tinggi sehingga dapat merusak peralatan. Untuk mencegahnya digunakan regulator tegangan dalam peralatan dalam hal ini Universal Charge Controller (UCC).

2) Arus yang diisyaratkan

Dalam beberapa aplikasi, penarikan arus dapat dikatakan hampir konstan.

3) Kapasitas Ampere-Jam dan Watt-jam

Sebuah baterai harus memiliki kapasitas ampere jam yang cukup untuk mengirim daya pada beban hingga ada sumberdaya untuk mengisi kembali muatan baterai. Spesifikasi ampere-jam menyatakan kuantitas arus yang dapat diperoleh dari baterai selama periode pelepasan tanpa memperhatikan tegangan ratingnya. Kapasitas baterai dapat ditentukan mengacu pada hal-hal sebagai berikut:

- a. Intensitas matahari rata-rata minimum perbulan.
- b. Periode waktu dimana cuaca berawan sepanjang hari.
- c. Intensitas matahari minimum pada kondisi cuaca berawan sepanjang hari yaitu pada kondisi waktu penyinaran sebesar 0 % sehari.
- d. Isi baterai minimum yang harus tersisa pada akhir periode waktu dimana cuaca berawan sepanjang hari.

C. Analisis Kelayakan Ekonomi

1. Pentingnya Analisis Kelayakan

Analisis kelayakan dilakukan untuk melihat apakah suatu investasi yang akan dilaksanakan akan dapat memberi manfaat yang

menguntungkan kepada masyarakat luas. Menguntungkan dalam artian lebih terbatas, terutama dipergunakan oleh pihak swasta yang lebih berminat tentang manfaat ekonomis suatu investasi. Sedangkan dari pihak pemerintah, atau lembaga nonprofit, pengertian menguntungkan bisa dalam arti yang lebih relatif yang mempertimbangkan berbagai faktor seperti manfaat bagi masyarakat luas yang biasa berwujud penyerapan tenaga kerja, pemanfaatan sumber daya yang melimpah ditempat tersebut, penghematan devisa ataupun penambahan devisa yang diperlukan oleh pemerintah. (Suad dan Suwarsono, 2000).

Analisis kelayakan dalam setiap investasi sangat diperlukan terutama dalam pengambilan keputusan investasi. Dalam materi *handout* Yamin Jinca (2011), tujuan dari analisis yaitu :

- a. Mengetahui tingkat keuntungan yang dapat dicapai melalui investsi;
- b. Menghindari pemborosan sumber-sumber dari pelaksanaan investasi yang tidak menguntungkan;
- c. Memilih alternatif proyek yang menguntungkan dan menentukan prioritas investasi.

2. Konsep Nilai Waktu Uang

Konsep nilai waktu uang adalah nilai uang yang berubah bersamaan dengan perubahan waktu. (Giatman, 2001). Menurut Suad dan

Suwarsono (2000), untuk membahas konsep nilai waktu uang (*time value of money*), ada beberapa faktor yang mempengaruhi yaitu:

a. Pengaruh Inflasi

Semakin tinggi tingkat inflasi, semakin cepat penurunan nilai mata uang. Dalam analisis suatu investasi kita perlu memperhatikan adanya pengaruh inflasi. Pengaruh inflasi ini mempunyai pengaruh dua sisi. Pertama pada taksiran aliran kas dan kedua pada tingkat bunga yang dipakai untuk menghitung NPV. Karena tingkat bunga merupakan tingkat keuntungan yang diisyaratkan, maka jika inflasi semakin tinggi, tingkat bunga juga ini akan semakin tinggi. (Suad dan Suwarsono, 2000).

b. Bunga

Bunga (*interest*) adalah sejumlah uang yang dibayarkan akibat pemakaian uang yang dipinjam sebelumnya. Penarikan bunga pada dasarnya merupakan kompensasi dari penurunan nilai uang selama waktu peminjaman sehingga besarnya bunga relatif sama besarnya dengan penurunan nilai uang tersebut.

- a) Tingkat suku bunga (*rate of interest*), merupakan rasio antara bunga yang dibebankan per periode waktu dengan jumlah uang yang dipinjam awal periode dikalikan 100 %.

- b) Bunga sederhana, yaitu sistem perhitungan bunga hanya didasarkan atas besarnya pinjaman semula, dan bunga periode sebelumnya yang belum dibayar tidak masuk faktor pengali bunga.
- c) Bunga Majemuk, sering juga disebut bunga berbunga. Menunjukkan bahwa bunga dari suatu pokok pinjaman juga akan dikenakan bunga pada periode selanjutnya.

3. Cash Flow

Berdasarkan Giatman (2001) *cash flow* adalah tata aliran uang masuk dan keluar per periode waktu pada suatu perusahaan. *Cash flow* terdiri dari:

- a. *Cash-in* (uang masuk), umumnya berasal dari produk atau manfaat terukur.
- b. *Cash-out* (uang keluar), merupakan kumulatif dari biaya-biaya (*cost*) yang dikeluarkan.

Dalam suatu investasi secara umum, *cash flow* akan terdiri dari empat komponen utama, yaitu:

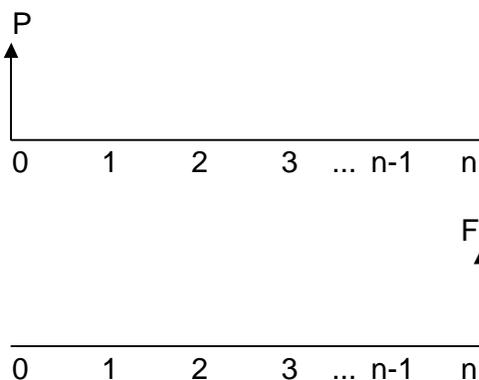
- a. Investasi;
- b. *Operational cost*;
- c. *Maintenance cost*;
- d. *Benefit* / manfaat.

Jika *cash flow* tersebut sudah merupakan perkiraan uang yang akan masuk dan keluar akibat suatu investasi selama umurnya, perlu diketahui apakah investasi tersebut akan menguntungkan atau tidak. Artinya, apakah jumlah uang yang akan masuk lebih besar dari jumlah uang yang akan keluar.

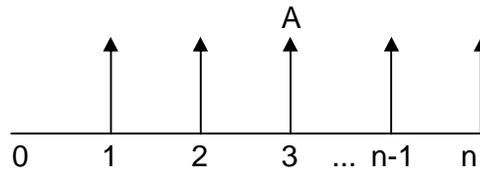
Jika besaran uang yang akan masuk dan keluar tidak berada pada waktu yang sama sesuai dengan konsep nilai uang akan berubah bersama dengan waktu (*time value of money*), maka diperlukan metode perhitungan tersendiri yang disebut ekuivalensi uang.

4. Metode Ekuivalensi

Konsep ekuivalensi mengatakan bila sejumlah uang yang berbeda dibayar pada waktu yang berbeda dapat menghasilkan nilai yang sama (ekuivalensi) satu sama lain secara ekonomis (Giatman, 2001). Metode ini merupakan dasar dari perhitungan dan analisis *cash flow*.



Gambar 6. Grafik *cash flow present/* uang sekarang dan *future/* uang akan datang (Giatman, 2001)



Gambar 7. Grafik *cash flow annual*/tiap akhir periode (Giatman, 2001)

a. Cash flow tunggal (*Single Payment*)

Jika sejumlah uang saat ini (*present*) = P dipinjamkan dengan suku bunga (*rate of interest*)= i, maka uang itu pada periode ke-n akan menghasilkan nilai uang masa datang (*future*) = F. Nilai uang F masa datang menjadi ekuivalen (sama dengan) P saat ini pada suku bunga i dengan persamaan sebagai berikut:

$$F = P (1 + i)^n \dots\dots\dots(1)$$

$$P = F \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right] \dots\dots\dots(2)$$

b. Cash flow annual

Cash flow ini merupakan *cash flow* yang sama besarnya setiap periode yang dalam istilah bank sering disebut sistem *flat* atau mendatar.

- Hubungan Annual dengan Future

Dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$F = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right] \dots\dots\dots(3)$$

- Hubungan Future dengan Annual

Dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$A = F \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right] \dots\dots\dots(4)$$

- Hubungan Annual dengan Present

Dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$A = P \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \dots\dots\dots(5)$$

- Hubungan Present dengan Annual

Dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \dots\dots\dots(6)$$

5. Metode Analisis Kelayakan Ekonomi

Menurut Suad dan Suwarsono (2000), faktor yang penting dalam menganalisa kelayakan ekonomi yaitu dana untuk investasi dalam hal ini modal, sumber-sumber pembelanjaan yang akan dipergunakan, taksiran penghasilan dan biaya, serta manfaat dan biaya . Terdapat berbagai metode dalam menganalisis kelayakan ekonomi suatu proyek keteknikan dan yang umum dipakai, yaitu:

a. Metode *Net Present Value* (NPV)

Net Present Value adalah metode menghitung nilai bersih (*netto*) pada waktu sekarang (*present*). Asumsi *present* yaitu menjelaskan waktu awal perhitungan bertepatan dengan saat evaluasi dilakukan atau pada periode tahun ke-nol dalam perhitungan *cash flow* investasi.(Giatman, 2011).

Metode ini menghitung selisih antara nilai sekarang investasi dengan nilai sekarang penerimaan kas bersih dimasa yang akan datang (Suad dan Suwarsono, 2000). Untuk menghitung nilai sekarang tersebut perlu ditentukan terlebih dahulu tingkat bunga yang dianggap relevan. Berdasarkan Giatman (2001), jika dilakukan analisis terhadap *present* untuk mendapatkan nilai NPV dipakai formula sebagai berikut:

$$NPV = PWB - PWC \dots\dots\dots(7)$$

$$PWB = \sum_{t=0}^n (cb)_t (FBP)_t \dots\dots\dots(8)$$

$$PWC = \sum_{t=0}^n (cc)_t (FBP)_t \dots\dots\dots(9)$$

Dimana:

PWB = *Present Worth of Benefit / cash-in*

PWC = *Present Worth Cost / cash-out*

C_b = *cash flow benefit*

C_c = *cash flow cost*

FBP = Faktor Bunga *Present*

t = periode waktu, n = umur investasi

Kriteria Keputusan

Berdasarkan Giatman (2001), untuk mengetahui apakah rencana suatu investasi tersebut layak ekonomis atau tidak, diperlukan suatu ukuran/kriteria tertentu dalam metode NPV, yaitu:

Apabila:

NPV >0 atau nilainya (+), maka investasi tersebut *feasible*/layak
untung

NPV <0 atau nilainya (-), maka investasi tersebut *unfeasible*/tidak
layak/rugi

Jika rencana investasi tersebut dinyatakan layak, maka direkomendasikan untuk dilaksanakan investasi tersebut, namun jika ternyata tidak layak, maka rencana tersebut tidak direkomendasikan untuk dilanjutkan.

b. Metode *Benefit Cost Ratio*(BCR)

Metode ini memberikan penekanan terhadap nilai perbandingan antara aspek manfaat (*benefit*) yang akan diperoleh dengan aspek biaya (*cost*) dan kerugian yang akan ditanggung dengan adanya suatu investasi (Giatman, 2001). Metode ini sangat baik dilakukan dalam rangka mengevaluasi proyek-proyek pemerintah yang berdampak pada masyarakat publik.

Aspek *benefit* dan *cost* dalam proyek-proyek pemerintah mempunyai pengertian yang lebih luas daripada pengertian biasa, dimana *benefit* dan *cost* itu sendiri seringkali ditemukan dalam bentuk tidak langsung yang diperoleh pemerintah atau masyarakat.

$$BCR = \frac{\sum Benefit}{\sum Cost} \dots\dots\dots(10)$$

Jika analisis dilakukan terhadap *present*:

$$BCR = \frac{PWB}{PWC} \text{ atau } \frac{\sum_{t=0}^n (cb)_t (FBF)_t}{\sum_{t=0}^n (cc)_t (FBF)_t} \dots\dots\dots(11)$$

Jika analisis dilakukan terhadap *annual*:

$$BCR = \frac{EUAB}{EUAC} \text{ atau } \frac{\sum_{t=0}^n (cb)_t (FBA)_t}{\sum_{t=0}^n (cc)_t (FBA)_t} \dots\dots\dots(12)$$

Dimana:

PWB = *Present Worth of Benefit / cash-in*

PWC = *Present Worth Cost / cash-out*

Cb = *cash flow benefit*

Cc = *cash flow cost*

FBP = *Faktor Bunga Present*

FBA = *Faktor Bunga Annual*

EUAB = *Ekuivalent Uniform Annual Benefit*

EUAC = *Ekuivalent Uniform Annual Cost*

t = periode waktu, n = umur investasi

Kriteria Keputusan

Berdasarkan Gitman (2001), untuk mengetahui apakah rencana suatu investasi tersebut layak ekonomis atau tidak, diperlukan suatu ukuran/kriteria tertentu dalam metode BCR, yaitu:

Apabila:

BCR \geq 1 investasi tersebut *feasible*/layak

BCR $<$ 1 investasi tersebut *unfeasible*/tidak layak

Jika rencana investasi tersebut dinyatakan layak, maka direkomendasikan untuk dilaksanakan investasi tersebut, namun jika ternyata tidak layak, maka rencana tersebut tidak direkomendasikan untuk dilanjutkan.

c. Metode *Internal Rate of Return* (IRR)

Metode ini menghitung tingkat bunga yang menyamakan nilai sekarang investasi dengan nilai sekarang penerimaan kas bersih dimasa mendatang. Apabila tingkat bunga ini lebih besar daripada tingkat bunga relevan (tingkat keuntungan yang disyaratkan), maka investasi dikatakan menguntungkan, jika lebih kecil dikatakan merugikan (Suad dan Suwarsono, 2000).

Untuk mendapatkan nilai IRR digunakan formula sebagai berikut:

$$IRR = \frac{CF_1}{(1+r)^1} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \frac{CF_3}{(1+r)^3} + \dots + \frac{CF_n}{(1+r)^n} = I_0 \dots\dots\dots(13)$$

Dimana :

I_0 = Jumlah Investasi awal

CF_1 = *Net Cash flow* dari tahun ke-1 sampai ke-n

r = *rate* atau suku bunga yang digunakan

Berbeda dengan metode sebelumnya yang menggunakan suku bunga sebagai faktor penentunya, maka metode ini yang akan dicari adalah suku bunga di saat NPV sama dengan nol (Giatman, 2001). Proses menemukan NPV sama dengan nol dilakukan dengan prosedur sebagai berikut:

1. Menghitung NPV untuk suku bunga interval tertentu sampai ditemukan $NPV \rightarrow 0$, yaitu NPV_+ dan NPV_-
2. Melakukan interpolasi pada NPV_+ dan NPV_- tersebut sehingga didapatkan i^* pada $NPV=0$

$$IRR = i_{NPV_+} + \frac{NPV_+}{|NPV_+ + NPV_-|} (i_{NPV_-} - i_{NPV_+}) \dots\dots\dots(14)$$

Jadi, pada metode IRR ini informasi yang dihasilkan berkaitan dengan tingkat kemampuan *cash flow* dalam mengembalikan investasi yang dijelaskan dalam bentuk % periode waktu. Logika sederhananya menjelaskan seberapa kemampuan *cash flow* dalam mengembalikan modalnya dan seberapa besar pula kewajiban yang harus dipenuhi. Kemampuan ini disebut IRR, sedangkan kewajiban disebut MARR (*Minimum Atractive Rate of Return*). Dengan demikian kriteria keputusannya investasi dikatakan layak jika $IRR \geq MARR$ (Giatman, 2001)

Menurut Giatman (2001), nilai MARR umumnya ditetapkan secara subjektif melalui suatu pertimbangan-pertimbangan tertentu dari investasi tersebut. Dimana pertimbangan-pertimbangan yang dimaksud adalah :

- a) Suku bunga investasi (i);
- b) Biaya lain yang harus dikeluarkan untuk mendapatkan investasi (Cc);
- c) Faktor risiko investasi (α).

Dengan demikian, $MARR = i + Cc + \alpha$, jika Cc dan α tidak ada atau nol, maka $MARR = i$ (suku bunga), sehingga $IRR \geq i$.

d. Metode *Payback Period*(PBP)

Berdasarkan Giatman (2001), metode ini pada dasarnya bertujuan untuk mengetahui seberapa lama (periode) investasi akan dapat dikembalikan saat terjadi pulang pokok (*break even point*). Lamanya periode pengembalian (k) saat kondisi BEP adalah:

$$k_{(PBP)} = \sum_{t=0}^k CF_t \geq 0 \dots\dots\dots(15)$$

Dimana :

k = periode pengembalian

CF_t = *Cash flow* periode ke t

Jika komponen *cash flow benefit* dan *cost* nya bersifat *annual*, maka formulanya menjadi:

$$k_{(PBP)} = \frac{\text{Investasi}}{\text{Annual Benefit}} \times \text{periode waktu} \dots\dots\dots(16)$$

Kriteria Keputusan

Berdasarkan Gitman (2001), untuk mengetahui apakah rencana suatu investasi tersebut layak ekonomis atau tidak, diperlukan suatu ukuran/kriteria tertentu dalam metode *Payback Period* rencana investasi dikatakan layak (*feasible*) jika:

$k \leq n$, dimana

k = jumlah periode pengembalian

n = umur investasi

D. Penelitian Terkait

Penelitian tentang potensi dan manfaat energi surya untuk catu daya listrik telah dilakukan oleh Jasman Launtu (2009) pada studinya yang berjudul Pemanfaatan Energi Surya untuk Catu Daya Pengaturan *Traffic Light* di Wilayah Perkotaan (Makassar) dengan tujuan penelitian menganalisa potensi dan kelayakan ekonomi pemanfaatan energi surya untuk catu daya pada pengaturan *traffic light*. Hasil penelitian menunjukkan pemanfaatan energi surya pada catu daya pengaturan *traffic light* dinilai layak dengan *Net Present Value* hasilnya positif dan *Internal Rate of Return* tidak lebih besar dari *discount rate* (14%). Perbandingan biaya *traffic light* energi surya dan *traffic light* listrik PLN mengalami *break even point* pada tahun ke 10, sehingga setelah tahun ke-10 *traffic light*

energi surya akan lebih murah unggul dibandingkan dengan *traffic light* dengan energi listrik konvensional dari PLN.

Penelitian tentang analisis teknis dan ekonomis penerapan sel surya untuk kebutuhan penerangan jembatan Suramadu yang telah dilakukan oleh Didik Setiawan. Hasil penelitian menunjukkan *break event point* untuk satu set perencanaan penerangan jalan energi surya sebesar Rp. 25.590.000, dapat dibandingkan dengan tarif konvensional PLN pada tiap tiang sebesar Rp. 2. 514.000, maka investasi akan kembali selama 10 bulan.

Keterkaitan penelitian sebelumnya dengan penelitian ini adalah analisis ekonomi pemanfaatan sumber energi surya namun dengan objek dan lokasi yang berbeda untuk penelitian ini dengan objek Penerangan Jalan Umum pada lokasi jalan Lingkar Timur Batavia-Penggoli Kota Palopo.

E. Kerangka Konseptual

