

**ANALISIS PEMANFAATAN SOLAR CELL UNTUK  
PENERANGAN JALAN UMUM DI KABUPATEN MANOKWARI**

**Utilization Analysis of Solar Cell for  
Public Street Lighting in Manokwari Regency**

**BERNAT RUBA SAMPE PADANG**

**P082211001**



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERENCANAAN PRASARANA**

**SEKOLAH PASCASARJANA**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2023**

**LEMBAR PENGAJUAN TESIS  
ANALISIS PEMANFAATAN *SOLAR CELL* UNTUK  
PENERANGAN JALAN UMUM DI KABUPATEN MANOKWARI**

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister

Program Studi Teknik Perencanaan Prasarana

Disusun dan diajukan oleh

**BERNAT RUBA SAMPE PADANG**

P082211001

kepada

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK PERENCANAAN PRASARANA  
SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2023**

## LEMBAR PENGESAHAN TESIS

### ANALISIS PEMANFAATAN SOLAR CELL UNTUK PENERANGAN JALAN UMUM DI KABUPATEN MANOKWARI

Disusun dan diajukan oleh :

**BERNAT RUBA SAMPE PADANG**  
**P082211001**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik Perencanaan Prasarana Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin Pada Tanggal 30 Agustus 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

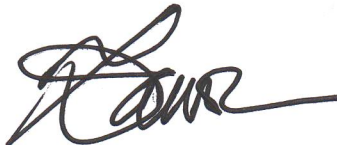
Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

  
Dr. Eng. Ir. Rosady Mulyadi.,S.T.,M.T.  
Nip : 19700810 19980 2 1001

  
Dr. Ir. Yusran.,S.T.,M.T.  
Nip : 19750404 20001 2 1001

Ketua Program Studi  
Teknik Perencanaan Prasarana



Dr. Ir. Idawarni J. Asmal, M.T.  
Nip : 19650701 19940 3 2001

Dekan Sekolah Pascasarjana,  
Universitas Hasanuddin



Prof. dr. Budu., Ph.D.Sp.M(K).M.MedEd.  
Nip : 19661231 199503 1 009

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa , tesis berjudul “Analisis Pemanfaatan Solar Cell untuk Penerangan Jalan Umum di Kabupaten Manokwari” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Dr. Eng. Ir. Rosady Mulyadi.,S.T.,M.T. sebagai Pembimbing Utama dan Dr. Ir. Yusran., S.T., M.T. Sebagai Pembimbing Pendamping). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Jurnal (Indonesia Journal of Multidisciplinary Science, May 2023, p2967-2982, dan ISSN: 2808-5957) sebagai artikel dengan judul “Evaluating and Analyzing the Solar Public Street Lighting Utilization: A Case Study in Manokwari”.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 30 Agustus 2023



Bernat Ruba Sampe Padang

NIM P082211001

## UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji bagi Tuhan Yang Maha Esa atas nikmat kesehatan dan kesempatan serta kemudahan yang diberikan kepada penulis sehingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.

Tesis dengan judul “Analisis Pemanfaatan Solar Cell Untuk Penerangan Jalan Umum Di Kabupaten Manokwari” ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Magister Teknik Perencanaan Prasarana Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Bapak Dr. Eng. Ir. Rosady Mulyadi.,S.T.,M.T., selaku pembimbing I dan Bapak Dr. Ir. Yusran.,S.T.,M.T., selaku pembimbing II atas bimbingan dan arahan dalam proses penulisan tesis ini.

Kepada Bapak Dr. Ir. Edward Syarif.,S.T.,M.T., Bapak Dr. Ir. Muhammad Yamin.,M.Si., dan Bapak Dr. Muhammad Akbar Walenna.,M.Sc.,Ph.D selaku penguji, penulis mengucapkan terima kasih atas saran dan masukan yang diberikan dalam penyelesaian tesis ini mulai dari tahapan Proposal, Hasil Proposal, dan Ujian Tesis. Ucapan terima kasih juga penulis ucapkan kepada Ibu Dr. Ir. Idawarni J. Asmal, M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Perencanaan Prasarana Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin, beserta seluruh Civitas Akademik Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin.

Akhirnya, penulis ucapkan terima kasih dan penghargaan yang besar kepada istri tercinta Ika Noviawati atas pengorbanan dan motivasi serta dukungan yang diberikan kepada penulis selama menempuh pendidikan.

Penulis,

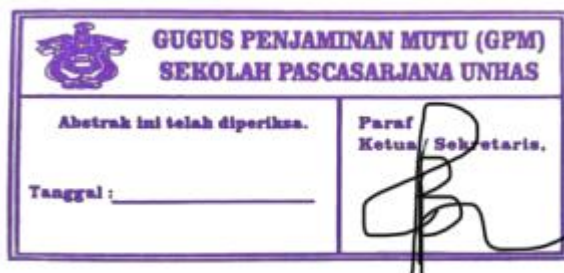
Bernat Ruba Sampe Padang  
P082211001

## ABSTRAK

BERNAT RUBA SAMPE PADANG. **Analisis pemanfaatan solar cell untuk penerangan jalan umum di Kabupaten Manokwari** (dibimbing oleh Rosady Mulyadi, dan Yusran)

Penerangan Jalan Umum (PJU) merupakan salah satu bangunan pelengkap jalan yang digunakan untuk menerangi jalan. Penggunaan Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS) sudah digunakan di beberapa tempat di Indonesia. Berdasarkan latar belakang diatas, tujuan penelitian ini adalah (1) mendapatkan hasil analisis teknis PJUTS, (2) mendapatkan hasil analisis ekonomi pembangunan PJUTS dengan menggunakan skema investasi. Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Manokwari, Provinsi Papua Barat. Data penelitian analisis teknis didapatkan dari hasil pengukuran pada *solar cell* ke *solar charge controler* dan pengukuran dari *solar charge controler* ke baterai pada kondisi cuaca cerah, berawan atau hujan dari pukul 08:00 sampai pukul 17:00 Waktu Indonesia Timur (WIT). Analisis ekonomi dilakukan untuk mendapatkan parameter nilai *Net Present Value (NPV)*, dan *Benefit Cost Ratio (B/C Ratio)* dengan *discount rate* 10% dan 0%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa (1) berdasarkan analisis teknis PJUTS di Kabupaten Manokwari sudah memenuhi standar penerangan jalan umum, sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan No. 27 Tahun 2018 tentang alat penerangan jalan. (2) Analisis ekonomi menunjukkan bahwa pembangunan PJUTS dengan skema investasi belum layak dikerjakan karena nilai  $NPV < 0$  dengan *discount rate* 10%, dan  $B/C Ratio < 1$ . Pembangunan PJUTS layak secara ekonomi bilamana perhitungan *discount rate* 0% dengan harga listrik per kWhnya mencapai nilai Rp. 14.411,32 atau kurang lebih sekitar sepuluh kali harga listrik PLN kWh Non-Subsidi yang nilainya Rp. 1.444,70.

Kata kunci: *Solar Cell*, PJU, PJUTS, *NPV*, *B/C Ratio*



## ABSTRACT

BERNAT RUBA SAMPE PADANG. **Utilization analysis of solar cell for public street lighting in Manokwari Regency** (supervised by Rosady Mulyadi, and Yusran)

Public Street Lighting (PSL) is one of the complementary road buildings used to illuminate the road. Solar Public Street Lighting (SPSL) is used in several places in Indonesia. Based on the background above, the objectives of this study are (1) to obtain the results of technical analysis of SPSL, (2) to obtain the results of economic analysis of SPSL development using investment schemes. The research was conducted in Manokwari Regency, West Papua. The research data were obtained from the results of measurements on solar cell to solar charge controllers and measurements from solar charge controllers to batteries in sunny, cloudy or rainy weather conditions from 08:00 WIT to 17:00 Western Indonesian Time (WIT). Economic analysis is carried out to obtain the parameters of Net Present Value (NPV), and Benefit Cost Ratio (B/C Ratio) with discount rates of 10% and 0%. The results showed that (1) based on technical analysis SPSL in Manokwari Regency has met public street lighting standards, in accordance with the Minister of Transportation Regulation No. 27 of 2018 concerning street lighting equipment. (2) An economic analysis shows that the development of SPSL with investment schemes is not feasible because the NPV value  $< 0$  with an *discount rate* of 10%, and a B/C Ratio of  $< 1$ . The construction of SPSL is economically feasible if the calculation of 0% *discount rate* with the price of electricity per kWh reaches a value of IDR 14,411.32 or approximately ten times the price of Non-Subsidized PLN kWh electricity which is worth IDR 1,444.70.

Keywords: Solar Cell, PSL, SPSL, NPV, B/C Ratio



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGAJUAN TESIS</b> .....	i
<b>TESIS</b> .....	ii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA</b> .....	iii
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....	iv
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISTILAH DAN LAMBANG</b> .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Balakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Kegunaan Penelitian .....	2
1.5 Batasan Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Kajian Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Lampu Penerangan Jalan Umum .....	8
2.2.1 Pengertian penerangan jalan .....	8
2.2.2 Struktur lampu penerangan jalan umum .....	9
2.2.3 Tiang lampu penerangan jalan umum.....	9
2.2.4 Dasar pencahayaan.....	10
2.2.5 Susunan penempatan penerangan jalan.....	12
2.3 <i>Solar Cell</i> untuk Penerangan Jalan Umum.....	13
2.3.1 <i>Solar cell</i> .....	13
2.3.2 Komponen penerangan jalan umum tenaga surya.....	14
2.3.3 Standar penerangan jalan umum tenaga surya.....	17
2.3.4 Kelebihan dan kekurangan PJUTS .....	18
2.3.5 Pemanfaatan <i>solar cell</i> sebagai penerangan jalan umum di Kabupaten Manokwari .....	19
2.4 Teknik Analisa Kelayakan .....	20
2.4.1 Analisis teknik .....	20



2.4.2 Analisis ekonomi .....	21
2.5 Kerangka Konseptual .....	23
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>24</b>
3.1 Rancangan Penelitian .....	24
3.2 Lokasi dan Waktu .....	24
3.3 Prosedur Penelitian .....	26
3.4 Definisi Operasional .....	27
3.5 Populasi dan Teknik Sampel .....	28
3.6 Teknik Pengumpulan Data .....	28
3.7 Keabsahan Data Penelitian .....	29
3.8 Teknik Analisis Data .....	29
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>30</b>
4.1 Kondisi Eksisting PJUTS .....	30
4.2 Analisis Teknis .....	31
4.3 Analisis Ekonomi .....	37
<b>BAB V KESIMPULAN</b> .....	<b>50</b>
5.1 Kesimpulan .....	50
5.2 Saran .....	50
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>51</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>53</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Hasil penelitian terdahulu.....	6
Tabel 2.2. Pengaturan dan penataan letak .....	12
Tabel 2.3. Spesifikasi teknis alat penerangan jalan tenaga surya .....	17
Tabel 4.1. Spesifikasi panel surya .....	30
Tabel 4.2. Spesifikasi baterai .....	31
Tabel 4.3. Spesifikasi lampu LED.....	31
Tabel 4.4. Spesifikasi solar charge controller .....	31
Tabel 4.5. Output rata-rata tegangan, arus dan daya PV Panel saat cuaca cerah .....	32
Tabel 4.6. Output rata-rata tegangan dan arus dari PV Panel ke beban (baterai) .....	33
Tabel 4.7. Output rata-rata tegangan dan arus PV Panel saat cuaca berawan/hujan.....	34
Tabel 4. 8. Output rata-rata tegangan dan arus dari PV Panel ke beban (baterai) .....	35
Tabel 4 9. Biaya investasi 1 unit pjuts.....	38
Tabel 4.10. Hasil perhitungan biaya investasi .....	39
Tabel 4.11. Hasil perhitungan NPV dengan discount rate 10% untuk pendapatan kWh selama 25 tahun .....	41
Tabel 4.12. Hasil perhitungan NPV dengan discount rate 0% untuk pendapatan kWh selama 25 tahun .....	42
Tabel 4.13. Biaya pemasangan PJU konvensional untuk 22 unit .....	45
Tabel 4.14. Perbandingan ekonomi dan dampak lingkungan antara PJU dan PJUTS .....	49

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Bentuk dan struktur rumah lampu penerangan jalan. Sumber SNI 7391, 2008.....	9
Gambar 2.2. Beberapa bentuk lengan tiang lampu jalan, Sumber : SNI 7391, 2008.....	10
Gambar 2.3. Penentuan sudut kemiringan stang ornamen terhadap lebar jalan, Sumber : SNI 7391, 2008.....	10
Gambar 2.4. Tipikal lampu penerangan jalan berdasarkan pemilihan letak, Sumber: Peraturan Menteri Perhub No. PM 27 tahun 2018.....	13
Gambar 2.5. Struktur sel surya dan panel surya, Sumber: Volker Quaschnig, Understanding Renewable Energy Systems, London Sterling, VA, 2005.....	14
Gambar 2.6. Skema PJUTS, Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No PM 27 Tahun 2018 tentang alat penerangan jalan.....	14
Gambar 2.7. Gambar sel surya, panel surya, Sumber: netsolar.com.....	15
Gambar 2.8. Diagram blok yang menunjukkan komponen sistem PV yang berdiri sendiri, Sumber: Florida Solar Energy Center, Types of PV Systems, 2011.....	16
Gambar 2.9. Sebaran PJUTS yang ada di Kabupaten Manokwari.....	19
Gambar 2.10. Jenis Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya di Kabupaten Manokwari.....	20
Gambar 2.11. Bagan kerangka konseptual.....	23
Gambar 3.1. Peta PJUTS yang menjadi lokasi penelitian di Kabupaten Manokwari.....	25
Gambar 3.2. Flowchart Penelitian.....	26
Gambar 3.3 Bagan penelitian.....	27
Gambar 4. 1. Grafik daya harian panel surya pada cuaca cerah.....	33
Gambar 4. 2. Grafik output tegangan dan arus ke baterai pada cuaca cerah.....	34
Gambar 4. 3. Grafik daya harian panel surya pada cuaca berawan/hujan.....	34
Gambar 4. 4. Grafik output tegangan dan arus ke baterai pada cuaca berawan/hujan.....	35

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1a. Hasil pengukuran panel surya pada saat cuaca cerah.....	53
Lampiran 1b. Hasil pengukuran tegangan dan arus, dari panel surya ke baterai pada saat cuaca cerah .....	55
Lampiran 1c. Hasil pengukuran panel surya pada saat cuaca berawan/hujan ....	57
Lampiran 1d. Hasil pengukuran tegangan dan arus, dari panel surya ke baterai pada saat berawan/hujan .....	58
Lampiran 2a. Hasil perhitungan sisa lampu pada tahun ke 25 dengan diskon rate 10%.....	59
Lampiran 2b. Hasil perhitungan sisa baterai pada tahun ke 25 dengan diskon rate 10%.....	60
Lampiran 2c. Hasil perhitungan NPV dengan discount rate 0% untuk pendapatan kWh selama 25 tahun untuk 22 unit PJU.....	61
Lampiran 2d. Hasil perhitungan NPV dengan discount rate 0% untuk pendapatan kWh selama 25 tahun untuk 22 unit PJUTS.....	62
Lampiran 2e. Hasil perhitungan NPV dengan discount rate 0% untuk pendapatan kWh selama 50 tahun untuk 22 unit PJU.....	63
Lampiran 3a. Data curah hujan tahun 2022 dari BMKG Papua Barat.....	65

## DAFTAR ISTILAH DAN LAMBANG

Istilah	Arti dan Penjelasan
PJU	Penerangan Jalan Umum
PJUTS	Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya
PLN	Perusahaan Listrik Negara
Baterai	Peralatan elektronik yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik
Lampu LED	<i>Light Emitting Diode</i> adalah sebuah komponen semikonduktor yang memiliki fungsi utama sebagai sumber atau penghasil cahaya
kWh	Kilo Watt Hour adalah unit yang digunakan untuk mengukur energi listrik yang dikelarkan atau digunakan dari waktu ke waktu
W	Watt adalah satuan tenaga listrik untuk menyatakan besaran daya
Solar cell	Peralatan elektronik yang berfungsi menangkap energi sinar matahari dan mengubah menjadi energi listrik
SCC	<i>Solar Charge Controller</i> adalah peralatan elektronik yang berfungsi mencegah pengisian energi baterai yang berlebihan dengan membatasi jumlah dan laju pengisian daya ke baterai
Illuminasi	Kuat pencahayaan yang jatuh pada permukaan jalan akibat darisuatu sumber cahaya dalam satuan footcandle atau lux
Luminasi	Pantulan kembali cahaya oleh suatu permukaan yang menerima pencahayaan dalam satuan candela per meter persegi
NPV	<i>Net Present Value</i>
NCF	<i>Net Cash Flow</i>
IRR	<i>Internal Rate of Return</i>

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan prasarana yang sangat dibutuhkan dalam sistem transportasi untuk menghubungkan suatu tempat ke tempat lain dalam rangka pemenuhan kebutuhan ekonomi, sosial dan budaya. Di dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan disebutkan bahwa jalan sebagai bagian prasarana transportasi mempunyai peran penting dalam bidang ekonomi, sosial budaya, lingkungan hidup, politik, pertahanan dan keamanan, serta digunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat. Untuk mengoptimalkan fungsi jalan maka salah satu komponen perlengkapan jalan yaitu berupa alat penerangan jalan yang berguna mewujudkan keselamatan, keamanan, ketertiban, dan kelancaran lalu lintas serta kemudahan bagi penggunaan jalan dalam berlalu lintas (Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 27 Tahun 2018 Tentang Alat Penerangan Jalan., 2018).

Penerangan jalan umum (PJU) merupakan fasilitas umum yang ditujukan untuk menerangi jalan terutama disaat malam hari. Penerangan Jalan Umum ini adalah hal yang sangat penting bagi para pengguna jalan, baik itu di wilayah perkotaan yang ramai dan padat penduduknya atau di daerah pedesaan yang jarang penduduknya. Bagi wilayah perkotaan dimana aktivitas masyarakatnya tidak lagi dibatasi dengan waktu, siang atau malam kegiatan terus berjalan. Untuk itu Penerangan Jalan Umum sangatlah penting untuk mewujudkan keselamatan, keamanan, ketertiban, dan kelancaran lalu lintas serta kemudahan bagi pengguna jalan.

Pemanfaatan atau penggunaan *Solar Cell* sebagai penerangan jalan umum menjadi alternatif pengganti PJU yang menggunakan sumber energi listrik dari PLN dikarenakan *Solar Cell* ini sangat hemat energi, ramah lingkungan serta sangat mudah dalam pemasangan maupun perawatannya (Allery, 2018).

Melihat kondisi Pemanfaatan Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS) sebagai Penerangan Jalan Umum di Kabupaten Manokwari, maka untuk mengetahui seberapa besar kelayakan pemanfaatan PJUTS di Kabupaten Manokwari perlu dilakukan analisis teknis dan ekonomi.

Tujuan dalam penelitian ini yaitu mendapatkan hasil analisis teknis PJUTS di Kabupaten Manokwari dan mendapatkan hasil analisis ekonomi pembangunan PJUTS dengan menggunakan skema investasi. Analisis teknis dilakukan berdasarkan kapasitas PJUTS, serta daya yang dihasilkan dari PJUTS, dan untuk menentukan kelayakan teknis PJUTS menggunakan acuan dari Peraturan Menteri Perhubungan No. 27 tahun 2018 tentang alat penerangan jalan. Analisis ekonomi dilakukan untuk menilai kelayakan investasi suatu proyek dimana analisis ini menggunakan indikator *NPV*, dan *B/C Racio* dengan *discount rate* 10% dan 0%.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dikemukakan diatas, maka rumusan masalah yang akan diteliti oleh penulis dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mendapatkan kinerja komponen PJUTS berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 27 Tahun 2018 tentang alat penerangan jalan?
2. Bagaimana mendapatkan analisis ekonomis kelayakan pembangunan PJUTS dengan menggunakan skenario investasi?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun yang menjadi tujuan dalam penelitian ini:

1. Mendapatkan hasil evaluasi teknis terhadap kinerja komponen PJUTS berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 27 Tahun 2018 tentang alat penerangan jalan.
2. Mendapatkan hasil analisis ekonomis kelayakan pembangunan PJUTS dengan menggunakan skenario investasi.

## 1.4 Kegunaan Penelitian

Peneliti berharap hasil penelitian ini dapat berguna baik dari aspek teoritis maupun praktis sebagai berikut:

1. Aspek teoritis  
Adapun manfaat teoritis dari penelitian ini adalah sebagai referensi penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan pemanfaatan pembangunan jaringan PJUTS.

## 2. Aspek praktis

Adapun praktis dari penelitian ini baik bagi pengambil kebijakan maupun akademisi adalah hasil dari penelitian ini bisa memberikan gambaran kepada pemerintah maupun masyarakat tentang pemanfaatan kelayakan PJUTS. Selain itu dapat menjadi referensi dalam penataan dan pengembangan pemanfaatan PJUTS yang berkelanjutan di Kabupaten Manokwari.

### 1.5 Batasan Penelitian

Penelitian ini berfokus pada PJUTS yang ada di Kabupaten Manokwari. Agar penelitian lebih terfokus, maka perlu adanya pembatasan masalah. Penelitian ini dibatasi pada masalah-masalah sebagai berikut:

1. Penggunaan PJUTS untuk memenuhi standar penerangan jalan
2. Kelayakan ekonomi dari *Solar Cell* pada penerangan jalan umum di Kabupaten Manokwari.
3. Penelitian ini hanya dilakukan pada penerangan jalan bukan pada pembangkit yang berada di Kabupaten Manokwari.

### 1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tesis ini terdiri dari 5 (lima) bab dan dalam setiap bab terdapat sub-bab yang diharapkan dapat memudahkan untuk memahami penelitian ini secara utuh. Sistematika penulisan tesis ini adalah sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan, terdiri dari Latar Belakang Penelitian, Rumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Kegunaan Penelitian, Batasan Penelitian dan Sistematika Penulisan.
2. Bab II Kajian Pustaka, berisi penjelasan mengenai definisi Penerangan Jalan Umum, *Solar Cell* untuk Penerangan Jalan Umum, Metode Kelayakan *Solar Cell* sebagai Penerangan Jalan Umum, dan Kerangka Konseptual.
3. Bab III Metode Penelitian, menguraikan tentang metode penelitian yang digunakan untuk menjawab masalah dan tujuan penelitian yang terdiri dari Rancangan Penelitian, Lokasi dan Waktu, Definisi Operasional, Populasi dan Teknik Sampel, Teknik Pengumpulan Data, Instrumen Pengumpulan Data, serta Analisis Data.



4. Bab IV Hasil Penelitian dan Pembahasan, menguraikan tentang gambaran umum penggunaan *solar cell* untuk penerangan jalan umum di Kabupaten Manokwari, perhitungan kelayakan PJUTS dengan analisis teknis dan analisis ekonomis, serta hasil pembahasan yang diperoleh dari penelitian.
5. Bab V Kesimpulan, yaitu menjadi bagian terakhir dari tesis ini. Pada bagian ini berisi kesimpulan dari 2 (dua) rumusan masalah yang sudah disampaikan pada Bab I.

## **BAB II KAJIAN PUSTAKA**

### **2.1 Kajian Penelitian Terdahulu**

Penelitian ini didasari dari beberapa penelitian terdahulu, baik dari tema penelitian atau teori yang digunakan, dan jenis penelitian atau metode penelitian yang digunakan. Penelitian terdahulu yang diperoleh peneliti adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1. Hasil penelitian terdahulu

No	Judul	Peneliti	Tujuan Peneliti	Kesimpulan
1.	Kajian Pemanfaatan <i>Stand Alone Photovoltaic System</i> Untuk Penerangan Jalan Umum Di Pulau Nusa Penida	I.W. Yudi Martha Wiguna, W. G. Ariastina, I. N. Satya Kumara (2012).	Untuk mengetahui kelayakan pemanfaatan <i>Stand Alone Photovoltaic System</i> sebagai catu daya pada sistem penerangan jalan di Pulau Nusa Penida	Analisis kelayakan investasi PJU-TS yang menggunakan metode <i>cost &amp; benefit (NPV, IRR dan B/C Ratio)</i> menggunakan 3 skenario dengan tingkat IRR yang diinginkan masing-masing sebesar 10%, 11%, dan 12% menunjukkan bahwa: Pada skenario 1 menunjukkan proyek PJUTS di Pulau Nusa Penida berada pada keadaan break even point atau titik impas. Pada skenario 2 menunjukkan proyek PJUTS di Pulau Nusa Penida layak untuk dilaksanakan. Pada skenario 3 menunjukkan proyek PJUTS di Pulau Nusa Penida layak untuk dilaksanakan
2.	Analisis Tekno - Ekonomis Penerangan Tenaga Surya Tol Bali di Atas Air Laut	NM Karmiathi, INS Kumara, WG Ariastina, IW Gunarta (2018)	Untuk menghasilkan detail desain penerangan tenaga surya untuk jalan tol Bali di atas air laut yang memenuhi persyaratan teknis dan termasuk kelayakan ekonominya	Hasil analisis teknis, untuk memenuhi persyaratan penerangan tenaga surya yang diusulkan harus memiliki spesifikasi sebagai berikut: setiap unit terdiri dari 2 buah lampu LED 87 W dipasang pada ketinggian 10m dan sudut kemiringan lengan masing-masing 2,366 m dan 15° dengan panel surya monokristalin 260Wp, baterai lithium 24V-180AH, dan pengontrol pengisian daya surya MPPT 10-A, dengan jarak tiang 22,5m. Namun berdasarkan analisis ekonomis, diketahui bahwa biaya listrik per unit PJUTS cukup tinggi, yakni Rp 6.695,25/kWh sekitar 3,9 kali lebih mahal dari tarif listrik penerangan jalan konvensional. Sedangkan analisis kelayakan investasi $NPV < 0$ yang menunjukkan bahwa investasi PJUTS proyek ini tidak layak.

Lanjutan... Tabel 2.1

No	Judul	Peneliti	Tujuan Peneliti	Kesimpulan
3.	Analisis Teknis dan Ekonomis Penerapan Lampu Penerangan Jalan Umum Panel Surya di Kota Sukabumi	Dion Sanaha, Irzaman, Sri Mulatsih (2019)	Untuk mengetahui desain lampu PJU Panel Surya dapat memberikan pelayanan yang handal. Selain itu, pemantauan kinerja lampu PJU diharapkan dapat dilakukan secara terpusat, ini untuk memudahkan karyawan dalam mengamati kinerja lampu, juga untuk mengantisipasi kerusakan komponen lampu PJU.	<p>1) Desain lampu pju panel surya menggunakan komponen panel surya merk Jempro PV, tipe 150WP dan lampu LED merk Solarens tipe SL020-MT serta baterai lithium merk JYV tipe LFPxx. Komponen panel surya dan lampu bekerja sesuai spesifikasi teknisnya, sedangkan baterai tidak bekerja sesuai spesifikasi teknisnya.</p> <p>2) Status hidup atau mati lampu dan kondisi komponen lampu PJU Panel Surya dapat dilakukan secara terpusat, melalui komputer pc/laptop menggunakan aplikasi epever dengan melihat data teknis berupa tegangan, arus dan daya secara real time</p> <p>3) Nilai NPV &lt; 0 menunjukkan pemasangan lampu PJUTS tidak layak untuk bisnis kelayakan secara ekonomis diperoleh jika harga listrik per Kwh mencapai nilai Rp. 11.027, sekitar tujuh kali harga listrik PLN per Kwh tanpa subsidi.</p>
4.	Analisis Teknis dan Ekonomis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-grid Menggunakan <i>Software PVSyst</i> untuk Usaha Mikro Kecil dan Menengah (UMKM) <i>Coffeeshop Remote Area</i>	Jaka Windarta, Susatyo Handoko, Khilmi Nafadinanto Irfan, Sunan Muqtasida Masfuha, Candra Halim Itsnareno (2021)	Untuk merancang dan menganalisis PLTS <i>Off-grid</i> skala kecil dengan studi kasus UMKM Coffeeshop ditinjau dari analisis teknis dan ekonomi	Sistem PLTS yang dirancang dalam penelitian ini adalah sistem <i>off-grid</i> . Komponen yang akan digunakan masing-masing adalah 2 merk Panel Surya dan 2 merk baterai. Listrik yang dihasilkan dari PLTS berkisar antara 672-675 kWh per tahun. Perencanaan ini dianggap tidak layak karena memiliki nilai NPV < 0, namun nilai investasi PLTS ini masih jauh lebih hemat dan murah bila dibandingkan menggunakan sumber listrik genset maupun sistem charge baterai dari PLN.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh I. W. Yudi Martha Wiguna, W. G. Ariastina, dan I. N. Satya Kumara (2012) difokuskan untuk mengetahui kelayakan pemanfaatan *stand alone* sebagai catu daya pada sistem penerangan jalan di pulau nusa penida. Selanjutnya NM Karmiathi, INS Kumara, WG Ariastina, dan IW Gunarta (2018) fokusnya adalah untuk menghasilkan detail desain penerangan tenaga surya untuk jalan tol Bali di atas air laut yang memenuhi persyaratan teknis dan termasuk kelayakan ekonominya. Lebih lanjut, Dion Sanaha, Irzaman, Sri Mulatsih (2019) fokus penelitiannya untuk mengetahui desain lampu PJU panel surya dapat memberikan pelayanan yang handal, selain itu pemantauan kinerja lampu PJU diharapkan dapat dilakukan secara terpusat, ini untuk memudahkan karyawan dalam mengamati kinerja lampu, juga untuk mengantisipasi kerusakan komponen lampu PJU. Lain halnya dengan penelitian yang dilakukan oleh Jaka Widarta, Susatyo Handoko, Khilmi Nafadinanto Irfan, Sunan Muqtasida Masfuha, dan Candra Halim Itsnareno (2021), yaitu penelitiannya untuk merancang dan menganalisis PLTS off-grid skala kecil dengan studi kasus UMKM Coffeeshop ditinjau dari analisis teknis dan ekonomi.

Sedangkan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisa kelayakan solar cell untuk penerangan jalan umum yang ada di Kabupaten Manokwari secara teknis berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No 27 Tahun 2018 tentang alat penerangan jalan, menganalisis secara ekonomi dengan menggunakan tarif dasar listrik dari PT.PLN tahun 2022, dan membandingkan biaya yang digunakan untuk penerangan jalan umum secara konvensional dan penerangan jalan umum dengan menggunakan solar cell, serta melakukan perhitungan perbandingan CO<sub>2</sub> yang dihasilkan PJUTS dan PJU konvensional.

## **2.2 Lampu Penerangan Jalan Umum**

### **2.2.1 Pengertian penerangan jalan**

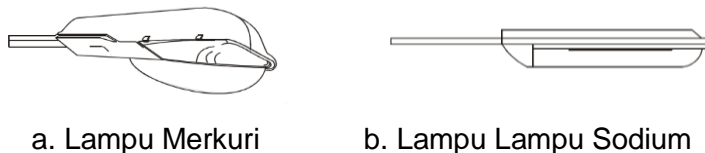
Penerangan jalan adalah layanan publik yang sebagian besar disediakan oleh pemerintah. Pencahayaan dari penerangan jalan dapat mengurangi kejahatan dan kekerasan di jalan, dan dapat mengurangi kemungkinan

kecelakaan pengguna jalan seperti pejalan kaki, sepeda dan atau kendaraan bermotor (Murray & Feng, 2016).

Menurut Badan Standardisasi Nasional (SNI, 2008) mengenai spesifikasi penerangan jalan di daerah perkotaan, definisi penerangan jalan adalah bagian dari pelengkap jalan yang dapat ditempatkan atau dipasang di sisi kiri atau kanan jalan dan atau ditengah (di bagian median jalan) yang berfungsi untuk menerangi jalan serta lingkungan sekitar jalan yang diperlukan termasuk persimpangan, jembatan layang, jembatan dan jalan bawah tanah (*underpass*, terowongan). Lampu jalan adalah unit lengkap yang terdiri dari sumber cahaya, *elemen optik*, elemen listrik dan struktur pendukung serta pondasi tiang lampu. Menurut SNI 7391:2008 menguraikan fungsi penerangan jalan untuk menghasilkan kontras antara objek dan permukaan jalan, sebagai sarana untuk menavigasi pengguna jalan, meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan, terutama pada malam hari serta mendukung keamanan lingkungan.

### 2.2.2 Struktur lampu penerangan jalan umum

Berdasarkan jenis sumber cahaya, lampu penerangan jalan umum secara konvensional dapat dibedakan atas 2 (dua) macam yaitu lampu merkuri dan lampu sodium.



**Gambar 2.1.** Bentuk dan struktur rumah lampu penerangan jalan. Sumber SNI 7391, 2008

### 2.2.3 Tiang lampu penerangan jalan umum

Tiang merupakan komponen yang digunakan untuk menopang lampu. Beberapa jenis tiang yang digunakan untuk lampu jalan adalah tiang besi dan tiang octagonal. Berdasarkan bentuk lengannya (*stang ornamen*), tiang lampu jalan dapat di bagi menjadi:

- a. Tiang lampu lengan tunggal
- b. Tiang lampu lengan ganda
- c. Tiang lampu tegak (tanpa lengan)



a. Lengan tunggal    b. Lengan ganda    c. Tanpa lengan

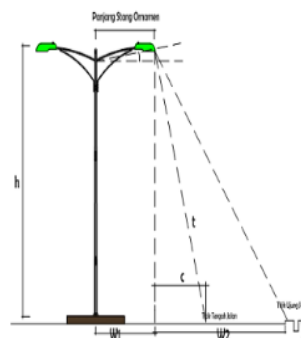
**Gambar 2.2.** Beberapa bentuk lengan tiang lampu jalan, Sumber : SNI 7391, 2008

Untuk menentukan sudut kemiringan *stang ornamen*, agar titik penerangan mengarah ketengah-tengah jalan, maka:

$$A = \sqrt{h^2 + c^2} \quad (1)$$

Sehingga:

$$\cos \varphi = \frac{h}{t} \quad (2)$$



**Gambar 2.3.** Penentuan sudut kemiringan stang ornamen terhadap lebar jalan, Sumber : SNI 7391, 2008

dimana,  $h$  adalah tinggi tiang,  $t$  adalah jarak lampu ketengah-tengah jalan,  $c$  adalah jarak horizontal lampu-tengah jalan,  $W1$  adalah tiang ke ujung lampu, dan  $W2$  adalah jarak horizontal lampu ke ujung jalan.

## 2.2.4 Dasar pencahayaan

Dasar pencahayaan terdiri dari:

- Arus cahaya/fluks cahaya ( $\Phi$ )

Menurut (Kadir, 1995) fluks cahaya adalah total cahaya yang dipancarkan setiap detik oleh sebuah sumber cahaya.

$$\Phi = \frac{Q}{t} \quad (3)$$

dimana,  $\Phi$  adalah fluks cahaya (lm), Q adalah energi cahaya (lm.dt), dan t adalah waktu (dt)

b. Intensitas Cahaya (I)

Menurut (Harten, 1981) intensitas cahaya adalah fluks cahaya per satuan sudut ruang yang dipancarkan ke suatu arah tertentu.

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad \text{dimana } \omega = 4\pi \quad (4)$$

$$K = \frac{\Phi}{P} \quad \text{dimana } \Phi = K \times P \quad (5)$$

Sehingga 
$$I = \frac{K \times P}{\omega}$$

dimana,  $\Phi$  adalah fluks cahaya (lm),  $\omega$  adalah sudut ruang (sr), dan I adalah intensitas cahaya (cd)

c. Iluminasi (E)

Iluminasi/intensitas penerangan merupakan fluks cahaya yang jatuh pada 1 m<sup>2</sup> dari bidang tersebut.

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad \text{dengan } E = \frac{\Phi}{A} = \frac{I \cdot \omega}{\omega \cdot r^2} = \frac{I}{r^2} \quad (6)$$

dimana, E adalah intensitas penerangan/iluminasi (lux)(lm/m<sup>2</sup>),  $\Phi$  adalah fluks cahaya(lm), A adalah luas bidang(m<sup>2</sup>),  $\omega$  adalah sudut ruang (sr), I adalah intensitas cahaya (cd), dan r adalah jarak dari sumber cahaya ke titik P

d. Luminasi (L)

Luminasi adalah fluks cahaya persatuan sudut ruang atau intensitas cahaya dari suatu permukaan persatuan luas.

$$L = \frac{\Phi}{\omega (A \cos \theta)} \quad (7)$$

$$\text{Dengan } L = \frac{I \cdot \omega}{\omega (A \cos \theta)} = \frac{I}{A \cos \theta} = \frac{I}{4\pi r^2 \cos \theta} \quad (8)$$

dimana, L adalah luminasi (cd/m<sup>2</sup>), A adalah luas bidang (m<sup>2</sup>), dan I adalah intensitas cahaya (cd)



### 2.2.5 Susunan penempatan penerangan jalan

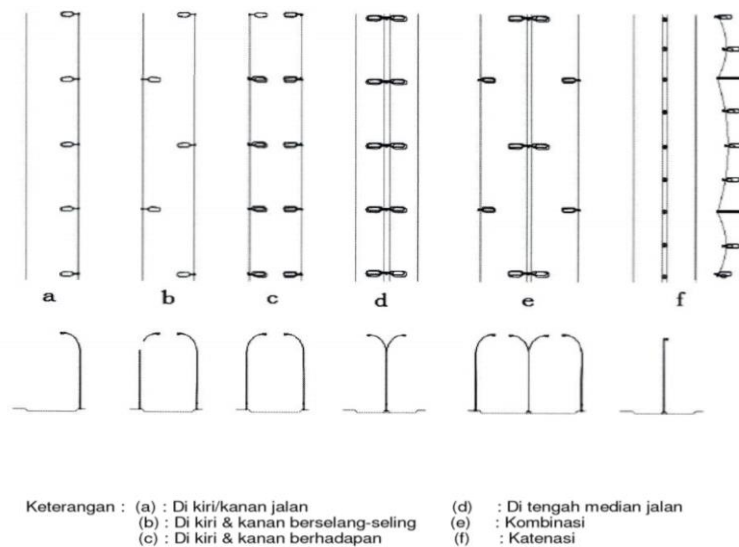
Berdasarkan SNI 7391:2008 penempatan lampu penerangan jalan harus direncanakan sedemikian rupa sehingga dapat memberikan:

- a. Kemerataan pencahayaan
- b. Keselamatan dan keamanan bagi pengguna jalan
- c. Pencahayaan yang lebih tinggi di area tikungan atau persimpangan dibanding pada bagian jalan yang lurus
- d. Arah dan petunjuk (guide) yang jelas bagi pengguna jalan dan pejalan kaki

Penempatan dan pemasangan alat penerangan jalan dilakukan pada jalan bebas hambatan, jalan arteri, jalan kolektor, jalan lokal dan jalan lingkungan (Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 27 Tahun 2018 Tentang Alat Penerangan Jalan., 2018). Pengaturan dan penataan letak penerangan jalan seperti pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2.** Pengaturan dan penataan letak

Tempat	Pengaturan dan penataan letak
Jalan satu arah	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Di kiri atau kanan jalan</li> <li>- Di kiri atau kanan jalan berselang – seling</li> <li>- Di kiri atau kanan jalan berhadapan</li> <li>- Di bagian tengah / separator jalan</li> </ul>
Jalan dua arah	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Di bagian tengah / median jalan</li> <li>- Kombinasi antara bagian di kiri dan kanan</li> <li>- Berhadapan dengan di bagian tengah / median</li> </ul>
Persimpangan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pada setiap sudut persimpangan</li> <li>- Dapat dilakukan dengan menggunakan lampu Menara dengan beberapa lampu, umumnya ditempatkan di pulau – pulau, median jalan, di luar daerah persimpangan (dalam Rumija maupun Ruwasja)</li> </ul>



**Gambar 2.4.** Tipikal lampu penerangan jalan berdasarkan pemilihan letak, Sumber: Peraturan Menteri Perhub No. PM 27 tahun 2018

## 2.3 Solar Cell untuk Penerangan Jalan Umum

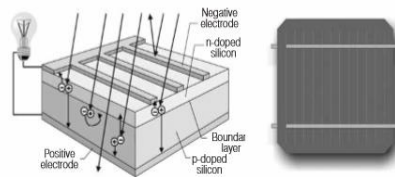
### 2.3.1 Solar cell

*Solar cell* adalah suatu perangkat atau komponen yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek *photovoltaik*. Yang dimaksud dengan *photovoltaik* adalah suatu fenomena dimana munculnya tegangan listrik karena adanya hubungan atau kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat mendapatkan energi cahaya. Oleh karena itu sel surya atau solar cell sering disebut juga dengan sel *photovoltaik*.

Arus listrik timbul karena adanya energi foton cahaya matahari menghantam atom semikonduktor silikon sel surya sehingga menimbulkan energi yang cukup besar untuk memisahkan elektron dari struktur atomnya. Elektron yang terpisah dan bermuatan negative (-) tersebut akan bebas bergerak pada daerah pita konduksi dari material semikonduktor. Atom yang kehilangan electron tersebut akan terjadi kekosongan pada strukturnya, kekosongan tersebut dinamakan dengan "hole" dengan muatan positif (+).

Daerah semikonduktor dengan elektron bebas ini bersifat negative dan bertindak sebagai pendonor elektron, daerah semikonduktor ini disebut dengan semikonduktor tipe N (N-type). Sedangkan daerah semikonduktor dengan hole

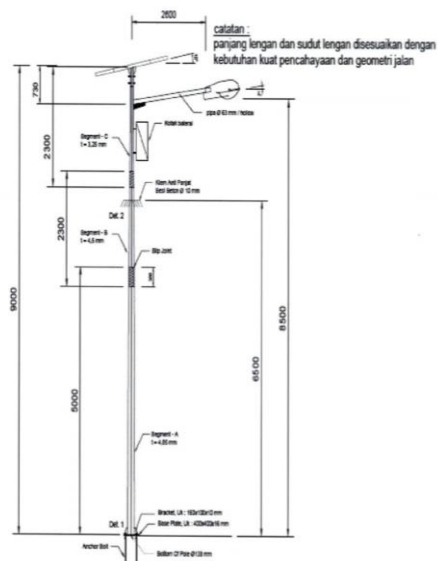
bersifat positif dan bertindak sebagai penerima (*Acceptor*) elektron yang dinamakan dengan Semikonduktor tipe P (P-type). Di persimpangan daerah positif dan negative (*PN Junction*), akan menimbulkan energi yang mendorong elektron dan hole untuk bergerak ke arah yang berlawanan. Elektron akan bergerak menjauhi daerah negatif sedangkan hole akan bergerak menjauhi daerah positif. Ketika diberikan sebuah beban berupa lampu maupun perangkat listrik lainnya di persimpangan positif dan negatif (*PN Junction*) ini, maka akan menimbulkan arus listrik (Quaschnig, 2005).



**Gambar 2.5.** Struktur sel surya dan panel surya, Sumber: Volker Quaschnig, *Understanding Renewable Energy Systems*, London Sterling, VA, 2005

### 2.3.2 Komponen penerangan jalan umum tenaga surya

Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya merupakan penerangan jalan umum yang memanfaatkan tenaga surya sebagai sumber energi listrik. Komponen PJUTS terdiri dari panel surya, *charge controller*, baterai, dan Lampu LED (Florida Solar Energy Center, 2011).



**Gambar 2.6.** Skema PJUTS, Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No PM 27 Tahun 2018 tentang alat penerangan jalan

a. Panel (Modul) Surya

Panel surya merupakan komponen yang berfungsi untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Panel ini tersusun dari beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri maupun paralel.

Jenis sel surya (Sumber: Volker Quaschnig, *Understanding Renewable Energy Systems*, London Sterling, VA, 2005):

1. *Polycrystalline Silicon*

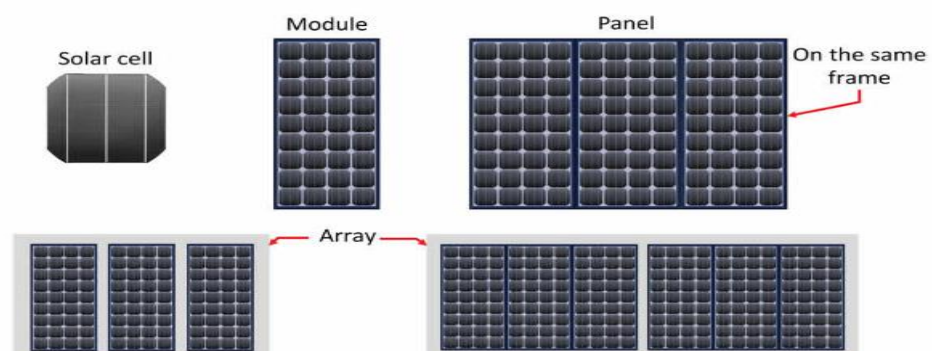
Panel surya ini terbuat dari beberapa batang kristal silikon yang dicairkan, setelah itu dituangkan dalam cetakan yang berbentuk persegi. Kristal silikon dalam jenis panel surya ini tidak sempurna pada sel surya *monocrystalline*. Jadi sel surya yang dihasilkan tidak identik antara satu sama lainnya. Efisiensinya pun lebih rendah dari *monocrystalline*.

2. *Monocrystalline Silicon*

Panel surya tipe ini menggunakan material silikon sebagai bahan utama penyusun sel surya. Material silikon ini diiris tipis menggunakan teknologi khusus, kepingan sel surya yang dihasilkan akan identik satu sama lainnya dan juga memiliki kinerja tinggi. Tipe panel surya ini menggunakan sel surya jenis *crystalline* tunggal yang memiliki efisiensi yang tinggi. Secara fisik tipe panel surya ini dapat dikenali dari warna sel hitam gelap dengan model terpotong pada tiap sudutnya.

3. *Thin Film Solar Cell (TFSC)*

Jenis panel surya ini dibuat dengan cara menambahkan sel surya yang tipis ke dalam sebuah lapisan dasar. Karena bentuk dari TFSC ini tipis, jadi panel surya ini sangat ringan dan fleksibel.



**Gambar 2 7.** Gambar sel surya, panel surya, Sumber: netsolar.com

b. *Solar Charger Controller*

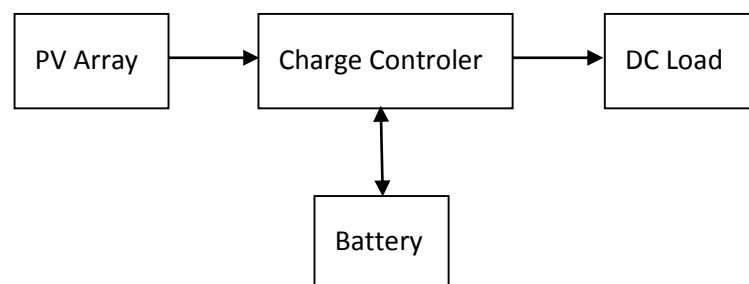
*Solar Charge Controller* adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan keluar dari baterai ke beban. *Solar charge controller* mencegah pengisian daya (*charging*) yang berlebihan dan melindungi baterai dari tegangan berlebih, serta mencegah baterai agar energi listrik yang tersimpan didalamnya tidak terkuras (*discharged*) sampai habis (Bayuaji Kencana et al., 2018).

c. Baterai

Baterai adalah komponen PLTS yang berfungsi menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya pada siang hari, untuk kemudian dipergunakan pada malam hari. Baterai yang dipergunakan pada PLTS mengalami proses siklus mengisi (*Charging*) dan mengosongkan (*Discharging*), tergantung pada ada atau tidaknya sinar matahari.

d. Lampu LED

Lampu LED (*Light Emitting Diode*) adalah sebuah komponen semikonduktor yang memiliki fungsi utama sebagai sumber atau penghasil cahaya. LED dapat dikatakan sebagai jenis pencahayaan yang hemat energi karena pencahayaannya yang bersifat solid-state, di mana sebuah semikonduktor mengubah listrik menjadi cahaya tanpa menghasilkan panas sehingga meminimalisir energi yang terbuang.



**Gambar 2.8.** Diagram blok yang menunjukkan komponen sistem PV yang berdiri sendiri, Sumber: Florida Solar Energy Center, Types of PV Systems, 2011

### 2.3.3 Standar penerangan jalan umum tenaga surya

Standar ini memuat ketentuan - ketentuan untuk penerangan ruas jalan, persimpangan sebidang maupun tidak sebidang, jembatan dan terowongan di kawasan perkotaan yang mempunyai klasifikasi fungsi jalan arteri, kolektor dan lokal. Spesifikasi yang dimaksud dalam standar ini meliputi fungsi, jenis, dimensi, pemasangan, penempatan/penataan penerangan jalan yang diperlukan, diatur dalam SNI 7391:2008 tentang Spesifikasi penerangan jalan di kawasan perkotaan.

Spesifikasi teknis alat penerangan jalan tenaga surya berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No PM 27 Tahun 2018 Tentang Alat Penerangan Jalan seperti terurai pada Tabel 2.3

**Tabel 2.3.** Spesifikasi teknis alat penerangan jalan tenaga surya

No	Besaran	Keterangan/Nilai/Satuan	
1.	Catu daya	Sumber arus listrik suplai mandiri ( <i>solar cell</i> )	
2.	Jenis arus listrik	Arus searah, <i>Direct Current</i>	
		Arus bolak balik, <i>Alternating Current</i>	
3.	Waktu operasi	Minimal 12 jam/hari (optimal antara adaptive/smart system)	
4.	Daya cadangan operasi	Minimal 3 malam (APJ catu daya mandiri)	
5.	Tinggi pemasangan luminer	6.000 s/d 13.000 mm	Lalu lintas kendaraan
		4.000 s/d 6.000 mm	Lalu lintas bukan kendaraan
		> 20.000 mm	Lampu menara (high mast)
6.	Jenis lampu	Lampu LED atau lampu jenis solid	
7.	Umur teknis lampu	50.000 jam	
8.	Umur operasi lampu	36.000 jam	
9.	Umur pemeliharaan lampu	4.000 jam	
10.	Fabrikasi bahan konstruksi tiang	Besi baja digalvanis	
11.	Rumah lampu (armature)	Die-cast aluminium high corrosion resistance, $t \geq 2\text{mm}$	
12.	Lokasi pemasangan	Jalan Nasional, Provinsi, Kabupaten/Kota	

Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. PM 27 Tahun 2018

### 2.3.4 Kelebihan dan kekurangan PJUTS

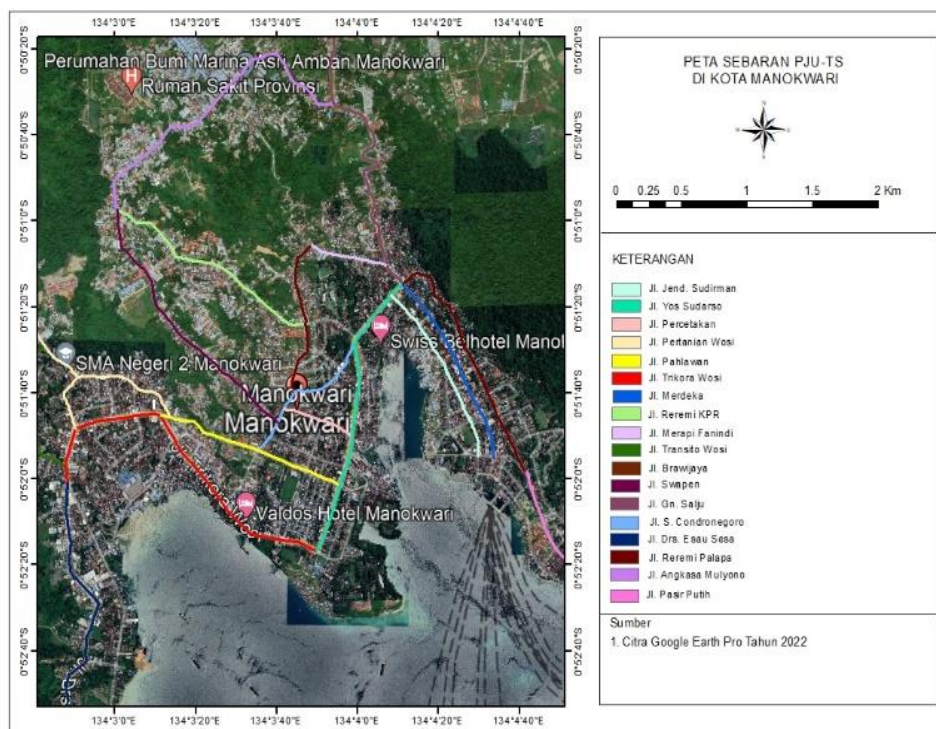
Adapun kelebihan dan kekurangan dalam penggunaan *solar cell* untuk penerangan jalan umum yaitu:

- a. Kelebihan penerangan jalan umum tenaga surya.
  - Lampu penerangan jalan umum tenaga surya (PJUTS) bersifat mandiri tidak tergantung dari jaringan PLN, sehingga tidak ada biaya listrik
  - Usia pemakaian yang sangat panjang, dimana komponen PJUTS seperti panel surya rata-rata memiliki usia pakai sampai dengan 25 tahun dengan degradasi efisiensi hanya 10%, penggunaan lampu LED dengan umur/usia operasi lampu sampai dengan 36.000 jam atau jika PJU menyala selama 12 jam per hari, maka usia/umur operasi lampu LED ini bisa mencapai 8 tahun.
  - Sumber energi yang banyak, dikarenakan PJUTS menggunakan/manfaatkan tenaga surya dari sinar matahari. Dalam konteks Indonesia sebagai negara yang berada di sekitar khatulistiwa, matahari bersinar sepanjang tahun sehingga energi dari sinar matahari ini selalu tersedia kapan saja dan dimana saja di wilayah Indonesia.
  - Gampang dipasang dimana saja dikarenakan PJUTS bersifat mandiri dari jaringan listrik PLN menjadikan keuntungan terbesar PJUTS ini, maka PJUTS dapat dipasang dimana saja selama panel surya sebagai penangkap sinar matahari tidak terhalangi oleh bayangan benda apapun.
  - Ramah lingkungan, dikarenakan sistem listrik tenaga surya secara umum tidak memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim di bumi. Ini dikarenakan sistem listrik tenaga surya tidak memancarkan gas rumah kaca yang berbahaya seperti karbon dioksida. Selain itu sistem listrik tenaga surya juga tidak menyebabkan polusi suara (tidak berisik).
- b. Kekurangan *Solar Cell* untuk Penerangan Jalan Umum
  - Biaya investasi awal yang mahal dimana harga dari PJUTS masih mahal dibandingkan dengan PJU konvensional.

- Tergantung cuaca, dikarenakan PJUTS memanfaatkan / menggunakan sinar matahari sebagai sumber energi. Radiasi matahari terjadi kurang lebih 8 jam dari pukul 08.00 – 16.00 dimana energinya dibutuhkan pada malam hari maka dibutuhkan media penyimpanan berupa baterai untuk menampung energi untuk keperluan penggunaan di malam hari atau ketika tidak ada cahaya matahari.
- Komponen PJUTS terutama pada baterai sering dicuri oleh oknum yang tidak bertanggung jawab

### 2.3.5 Pemanfaatan *solar cell* sebagai penerangan jalan umum di Kabupaten Manokwari

Pemanfaatan *solar cell* sebagai penerangan jalan umum menjadi alternatif pengganti PJU konvensional yang menggunakan sumber energi listrik dari PLN telah digunakan di Kabupaten Manokwari seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9, yang merupakan sebaran dari penggunaan penerangan jalan umum tenaga surya yang ada di Kabupaten Manokwari.



**Gambar 2.9.** Sebaran PJUTS yang ada di Kabupaten Manokwari



Adapun beberapa jenis atau model Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS) yang telah digunakan di Kabupaten Manokwari seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10



**Gambar 2.10.** Jenis Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya di Kabupaten Manokwari

## 2.4 Teknik Analisa Kelayakan

### 2.4.1 Analisis teknik

Analisis teknis dilakukan berdasarkan kapasitas PJUTS, serta daya yang dihasilkan dari PJUTS. Untuk menentukan kelayakan teknis PJUTS menggunakan acuan dari Peraturan Menteri Perhubungan No. 27 tahun 2018 tentang alat penerangan jalan

Menentukan energi per hari di hitung dengan persamaan:

$$E_t = P_L \times h \quad (9)$$

Dimana  $E_t$  adalah total konsumsi energi listrik per hari (Watt.hours),  $P_L$  adalah total daya (Watt), dan  $h$  adalah waktu penggunaan per hari (hours)

#### a. Panel surya

Untuk menentukan jumlah panel surya yang dibutuhkan penerangan jalan umum tenaga surya maka dilakukan beberapa perhitungan:

- Mengetahuai daya nominal modul

$$P_n = V \times I \quad (10)$$

Dimana  $P_n$  adalah daya nominal modul (Watt),  $V$  adalah tegangan (Volt), dan  $I$  adalah arus (Ampere).

- Mengetahui jumlah daya panel surya untuk suplai kebutuhan energi

$$\text{Total daya} = \frac{(\text{daya} \times \text{h} \times 1,3)}{5} \quad (11)$$

- Mengetahui kebutuhan panel surya

$$n = \frac{\text{konsumsi daya}}{\text{spesifikasi panel surya}} \quad (12)$$

dimana n adalah jumlah kebutuhan panel surya

#### b. Baterai

Untuk menentukan kapasitas baterai maka dilakukan perhitungan:

$$\text{Kapasitas baterai} = \frac{E_t}{P_L} \times \frac{1}{DOD} \quad (13)$$

Dimana  $E_t$  adalah total konsumsi energi listrik per hari (Watt.hours),  $P_L$  adalah total daya (Watt), dan DOD adalah *Depth of Discharge*

### 2.4.2 Analisis ekonomi

Analisis ekonomi dilakukan untuk menilai kelayakan investasi suatu proyek dimana analisis ini menggunakan indikator *NPV*, *B/C Racio*, dan *Internal Rate of Return (IRR)*

#### a. Net Present Value (NPV)

*Net Present Value (NPV)* menyatakan bahwa seluruh aliran kas dinilai sekarang atas dasar faktor diskonto (*discount factor*). Teknik ini menghitung selisih antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal yang ditanamkan (Wiguna et al., 2012). Data yang diperlukan untuk mencari nilai *NPV* berupa biaya investasi, biaya perawatan serta perbaikan, dan pendapatan bersih atau netto benefit yang diperoleh dari pendapatan kotor atau *brutto benefit* yang telah diskonto dengan tingkat suku bunga yang berlaku. Untuk menghitung *Net Present Value (NPV)* dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} - II \quad (14)$$

dimana,  $NCF_t$  adalah *Net Cash Flow* periode tahun-1 sampai tahun ke-n, II adalah investasi awal (Initial Investasi), i adalah tingkat diskonto, dan n adalah periode dalam dalam tahun (umur investasi)

Indikator kelayakannya dari penilaian hasil perhitungan dari *Net Present Value* (NPV) adalah:

- Jika *Net Present Value* (NPV) > 0, maka usulan proyek dilaksanakan
- Jika *Net Present Value* (NPV) < 0, maka usulan proyek tidak dilaksanakan

b. *Internal Rate of Return (IRR)*

*Internal Rate of Return* (IRR) didefinisikan sebagai tingkat bunga yang akan menjadikan jumlah nilai sekarang dan aliran kas yang diharapkan akan diterima, sama dengan jumlah nilai sekarang dan penerima modal. Dengan kata lain dapat juga disebut sebagai suatu tingkat suku bunga yang menghasilkan NPV = 0 (Giatman. M, 2006). Untuk menghitung IRR dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$IRR = I_1 + \frac{NPV'}{NPV' - NPV''} (I_2 - I_1) \quad (15)$$

dimana,  $I_1$  adalah suku bunga yang menghasilkan NPV positif,  $I_2$  adalah suku bunga yang menghasilkan NPV negatif,  $NPV'$  adalah NPV positif, dan  $NPV''$  adalah NPV negatif

Indikator kelayakannya dari hasil perhitungan *Internal Rate of Return* (IRR) adalah:

- Jika IRR lebih besar dari suku bunga yang berlaku ( $IRR > I$ ) maka proyek atau investasi layak diusahakan.
- Jika IRR lebih kecil dari suku bunga yang berlaku ( $IRR < I$ ) maka proyek atau investasi tidak layak untuk diusahakan.

c. *Net Benefit Cost Ratio (Net B/C Ratio)*

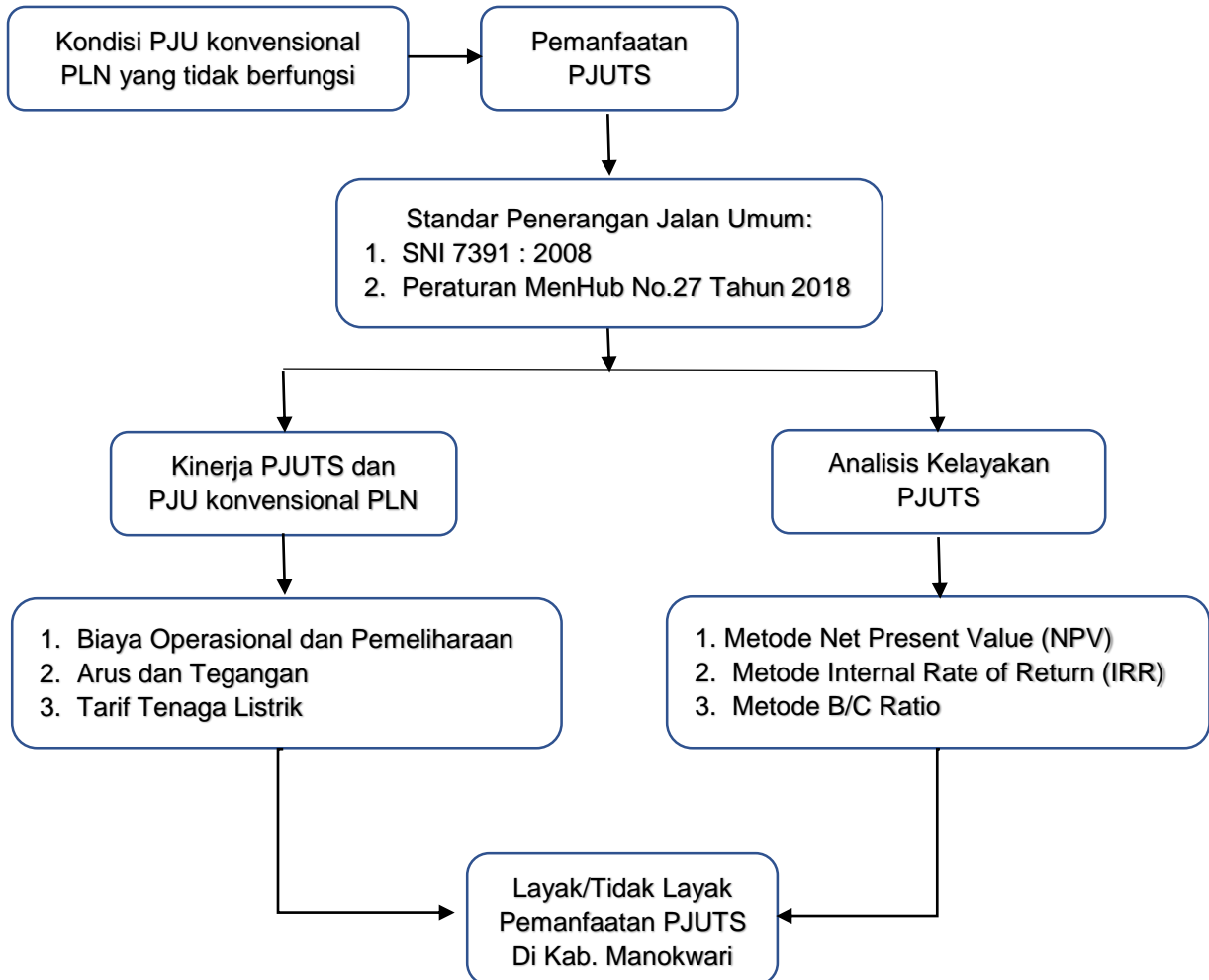
Rasio ini diperoleh dengan membagi antara present value (*PV benefit*) dengan *present value* biaya (*PV cost*). Secara matematis, perhitungan *Net B/C* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$BCR = \frac{Benefit}{Cost} \quad (16)$$

Indikator kelayakan dalam analisis ini adalah apabila *rasio B/C* lebih besar dari satu ( $Net B/C > 1$ ) maka proyek tersebut layak dijalankan. Sebaliknya apabila *rasio B/C* lebih kecil dari satu ( $Net B/C < 1$ ) maka proyek tersebut tidak layak dijalankan. (Wiguna et al., 2012).

## 2.5 Kerangka Konseptual

Kerangka konseptual dalam penelitian ini dapat dijelaskan melalui gambar bagan sebagai berikut:



**Gambar 2.11.** Bagan kerangka konseptual