



**TUGAS AKHIR - EE 184801**

**STUDI KELAYAKAN PEMASANGAN PLTS 80 KW PADA  
SISTEM KELISTRIKAN PT. INDONESIA KENDARAAN  
TERMINAL**

Pius Aditya Kurnia Ray  
NRP 0711134000122

Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.  
Feby Agung Pamuji ST., MT., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas





**TUGAS AKHIR - EE 184801**

**STUDI KELAYAKAN PEMASANGAN PLTS 80 KW PADA  
SISTEM KELISTRIKAN PT. INDONESIA KENDARAAN  
TERMINAL**

Pius Aditya Kurnia Ray  
NRP 07111340000122

Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.  
Feby Agung Pamuji ST., MT., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020





**FINAL PROJECT - EE 184801**

***FEASIBILITY STUDY OF 80 KW PV SYSTEM  
INSTALATION IN THE ELECTRICAL SYSTEM OF PT.  
INDONESIA KENDARAAN TERMINAL***

Pius Aditya Kurnia Ray  
NRP 07111340000122

Supervisor(s)  
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.  
Feby Agung Pamuji ST., MT., Ph.D.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 202







## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Studi Kelayakan Pemasangan PLTS 80 kW Pada Sistem Kelistrikan PT. Indonesia Kendaraan Terminal**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 7 Desember 2020  
Pius Aditya Kurnia Ray



NRP. 0711 13 4000 0122

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

# Studi Kelayakan Pemasangan PLTS 80 kW Pada Sistem Kelistrikan PT. Indonesia Kendaraan Terminal

## TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

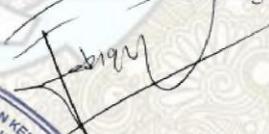
Dosen Pembimbing I



Dr.Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 1974112920001201001

Dosen Pembimbing II



Agung Pamuji ST., MT., Ph.D.

NIP. 198702062012121002



**SURABAYA**  
**Desember, 2020**



# **Studi Kelayakan Pemasangan PLTS 80 kW Pada Sistem Kelistrikan PT. Indonesia Kendaraan Terminal**

Nama : Pius Aditya Kurnia Ray  
Pembimbing I : Dr.Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.  
Pembimbing II : Feby Agung Pamuji ST., MT., Ph.D.

## **ABSTRAK**

PLTS sebagai salah satu pembangkit listrik terdistribusi adalah jenis pembangkit yang paling efisien untuk di terapkan pada lahan industri. Banyak industri menengah hingga besar di Indonesia yang tertarik untuk mulai menerapkan PLTS pada lahan usaha mereka. PT. Indonesia Kendaraan Terminal menjadi salah satu pelaku industri besar yang tertarik untuk menerapkan PLTS pada jaringan listrik mereka. Namun sebelum menjalankan menerapkan hal tersebut harus dilakukan analisa terlebih dahulu terhadap kelayakan investasinya. Pada tugas akhir ini akan dianalisa alternatif-alternatif investasi, untuk mendapatkan alternatif investasi seperti apa yang paling cocok dan paling menguntungkan dalam penerapan rencana ini. Oleh karena itu analisa kelayakan ekonomi teknik perlu dilakukan.

Pada tugas akhir ini penulis merencanakan penggunaan 195 buah panel surya untuk diterapkan, dengan energi yang dihasilkan 89.83 MWh per tahun dan penghematan sebesar Rp 110.051.317,00. Metode ekonomi Teknik diterapkan untuk mendapatkan kelayakan dari investasi ini. Pada analisa ekonomi yang dilakukan didapatkan alternatif investasi terbaik dengan nilai NPV Rp 81.346.406,00, nilai IRR sebesar 0,54%. Sehingga proyek ini layak untuk dijalankan.

**Kata kunci** : Panel Surya, PV, *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), RETScreen, Ekonomi Teknik.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

***FEASIBILITY STUDY OF 80 KW PV SYSTEM  
INSTALATION IN THE ELECTRICAL SYSTEM OF PT.  
INDONESIA KENDARAAN TERMINAL***

Name : Pius Aditya Kurnia Ray  
Lecturer Advisor I : Dr.Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.  
Lecturer Advisor II : Feby Agung Pamuji ST., MT., Ph.D.

**ABSTRACT**

PV as a distributed power plant is the most efficient type of generator to be applied to industrial land. Many medium to large industries in Indonesia are interested in starting to implement PV on their business lands. PT. Indonesia Kendaraan Terminal is one of the major industrial players who are interested in implementing PV in their electricity network. However, before implementing this plan, an analysis must be carried out first of the feasibility of the investment. In this final project, investment alternatives will be analyzed, to find which investment alternatives is the most suitable and most profitable to implement in this plan. Therefore, a economic feasibility analysis needs to be done.

In this final project, the writer plans to use 195 solar panels to be implemented, with the energy produced by 89.83 MWh per year and savings of Rp. 110,051,317.00 from electrical bills. Economic feasibility analysis methods are applied to get the feasibility of this investment. In the economic analysis carried out, it was found that the best investment alternative with an NPV value of Rp. 81,346,406.00, an IRR value of 0.54%. So that this project is feasible to run.

**Kata kunci :** Solar Cell, PV, *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), RETScreen, economic feasibility.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena rahmat dan izinnya maka tugas akhir dengan judul **Studi Kelayakan Pemasangan PLTS 80 kW Pada Sistem Kelistrikan PT. Indonesia Kendaraan Terminal** dapat diselesaikan. Tugas akhir ini merupakan salah satu mata kuliah yang harus ditempuh dalam persyaratan akademik program studi S1 di Departemen Teknik Elektrom, Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Dalam selesainya pengerjaan tugas akhir ini, dan selesainya masa perkuliahan yang di tempuh penulis, tentu tidak lepas dari dukungan banyak pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak di bawah ini, karena telah membantu penulis sepanjang proses studi dan pengerjaan tugas akhir, yaitu :

1. Keluarga penulis, Bapak Enga Simeon, Ibu Sri Harjumi, Adik Nikolas Arta Kurnia Dekko dan Adik Angela Merici Kurnia Nette yang selalu mendukung dan memberikan doa kepada setiap kegiatan dan aktivitas yang dilakukan penulis, serta selalu senantiasa memenuhi kebutuhan penulis selama masa perkuliahan.
2. Bapak Dimas Anton Asfani ST., MT., Ph.D. selaku dosen wali dan Sekertaris Departemen Teknik Elektro yang telah banyak memberikan bimbingan baik akademik maupun non akademik sehingga sebagai mahasiswa wali, penulis dapat menjalankan masa perkuliahaannya dengan baik
3. Bapak Dr.Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT, dan Bapak Feby Agung Pamuji ST., MT., Ph.D. selaku dosen pembimbing pertama dan kedua yang tidak lelah membimbing penulis dalam menyelesaikan penelitian Tugas Akhir, memberikan motivasi, dan memberikan ilmu serta pesan moral selama proses pengerjaan, sehingga penulis dapat menemukan semangatnya kembali dalam mengerjakan Tugas Akhirnya yang sempat tertunda.
4. Seluruh dosen Departemen Teknik Elektro yang telah memberikan pengetahuan-pengetahuan baik akademik maupun non akademik, yang membantu penulis hingga saat ini
5. Teman seperjuangan kampus penulis yaitu Brilian Adi Saputra, Christian Togi Sihol, dan Erwin Manurung yang selalu menemani penulis selama perkuliahan. Dan Januario Julio yang

menjadi teman seperjuangan penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa penelitian dalam tugas akhir ini jauh dari kata sempurna. Karenanya penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang dapat diberikan. Penulis juga berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi siapapun yang membacanya.

Surabaya, 7 Desember 2020  
Penulis

Pius Aditya Kurnia Ray

## DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	1
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Batas Masalah .....	2
1.5 Metodologi .....	2
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
1.7. Relevansi .....	4
<b>BAB II Dasar Sistem Tenaga Listrik .....</b>	<b>5</b>
2.1 Elemen Sistem Tenaga .....	5
2.1.1 Tegangan Listrik .....	5
2.1.2 Arus Listrik .....	6
2.1.3 Resistansi .....	6
2.1.4 Reaktansi .....	7
2.1.5 Impedansi .....	8
2.1.1 Daya Listrik .....	8
2.2 Sistem Tenaga Listrik .....	9
2.2.1 Pembangkit .....	10
2.2.2 Saluran Transmisi .....	11
2.2.3 Saluran Distribusi .....	12
2.3 Microgrid .....	12
2.3.1 Distributed Generation .....	13
2.3.1.1 Energy Storage .....	13
2.3.1.1 Wind Turbin .....	13
2.4 Panel Surya .....	14
2.4.1 Cara Kerja Panel Surya .....	15

2.4.2 Jenis Bahan Panel Surya .....	16
2.4.3 Tipe Operasi Panel Surya.....	16
2.5 Analisa Ekonomi .....	19
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>23</b>
3.1 Metodologi.....	24
3.1.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah.....	24
3.1.2 Studi Literatur.....	24
3.1.3 Pengumpulan Data .....	24
3.1.4 Pengolahan Data Secara Manual .....	24
3.1.5 Pengolahan Data Dengan Simulasi.....	24
3.1.6 Analisa Hasil .....	25
3.1.7 Kesimpulan .....	25
<b>BAB IV Analisa Data .....</b>	<b>27</b>
4.1 Deskripsi Umum.....	27
4.2 Analisa Energi dan Komponen.....	27
4.2.1 Menentukan Tingkat Radiasi Matahari Harian .....	27
4.2.2 Penentuan Modul Solar Panel .....	28
4.2.3 Menghitung Energi Output dari Panel Surya .....	31
4.2.4 Performance Ratio .....	31
4.2.5 Energi yang Dihasilkan perTahun.....	32
4.2.6 Perhitungan Kebutuhan Baterai .....	34
4.2.7 Inverter.....	35
4.2.8 Pemasukan Pada Data RETScreen.....	36
4.3 Analisa Kelayakan Ekonomi .....	38
4.3.1 Biaya Pengadaan Komponen PLTS .....	38
4.3.2 Arus Kas Tahunan .....	42
4.3.3 Alternatif-Alternatif Investasi .....	43
4.3.3.1 Tanpa Pinjaman Bank.....	43
4.3.3.2 Dengan Pinjaman Bank 50% Dari Investasi .....	47
4.3.3.3 Dengan Pinjaman Bank 70% Dari Investasi .....	53
4.4 Tinjauan Lingkungan.....	57
4.4.1 Instalasi Panel Surya.....	57
4.4.2 Dampak Pada Gas Emisi .....	58
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>61</b>
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran .....	61

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>63</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>65</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>	<b>69</b>

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Transmisi Energi Listrik .....	7
Gambar 2.2	Segitiga daya.....	11
Gambar 2.3	Diagram sederhana sistem tenaga listrik.....	12
Gambar 2.4	Panel Surya .....	16
Gambar 2.5	Cara Kerja Panel Surya.....	17
Gambar 2.6	<i>On-Grid</i> PV .....	19
Gambar 2.7	<i>Off-Grid</i> PV .....	20
Gambar 2.8	<i>Hybrid System</i> .....	20
Gambar 4.1	Lokasi Pengambilan Data.....	29
Gambar 4.2	Data Radiasi Matahari Harian.....	30
Gambar 4.3	Grafik Data Iklim.....	30
Gambar 4.4	Efisiensi Berdasarkan Jenis Bahan .....	31
Gambar 4.5	<i>Datasheet</i> Panel Surya.....	32
Gambar 4.6	Energi yang Dihasilkan Dalam Simulasi .....	35
Gambar 4.7	Spesifikasi Baterai .....	36
Gambar 4.8	<i>Datasheet</i> inverter dari KEHUA Tech.....	38
Gambar 4.9	Data Panel Surya Pada RETScreen.....	39
Gambar 4.10	Data Sudut Azimuth.....	39
Gambar 4.11	Analisa Biaya.....	45
Gambar 4.12	Biaya Simpan Pendapatan RETScreen .....	47
Gambar 4.13	Arus Kas Tahunan .....	47
Gambar 4.14	Grafik Arus Kas Tahunan .....	48
Gambar 4.15	Kelayaka Keuangan .....	49
Gambar 4.16	Pendapatan Pertahun Hutang 50% .....	52
Gambar 4.17	Hutang dan Bunga Hutang Pinjaman 50% .....	53
Gambar 4.18	Arus Kas Tahunan Saat Hutang 50%.....	53
Gambar 4.19	Kelayakan Keuangan Hutang 50% .....	54
Gambar 4.20	Pendapatan Pertahun Hutang 70%.....	54
Gambar 4.21	Pendapatan Pertahun Hutang 70% .....	57
Gambar 4.22	Hutang dan Bunga Hutang Pinjaman 70% .....	57
Gambar 4.23	Kelayakan Keuangan Hutang 70% .....	58
Gambar 4.24	Arus Kas Tahunan Hutang 70% .....	58
Gambar 4.25	Grafik Arus Kas Tahunan Hutang 70% .....	59
Gambar 4.26	Tangkapan Satelit PT. Indonesia Kendaraan Terminal	60

Gambar 4.27 Hasil Analisa Emisi RETScreen..... 61

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Spesifikasi Panel Surya .....	29
Tabel 4.2	Jumlah Rugi-Rugi .....	31
Tabel 4.3	Energi yang Dihasilkan .....	33
Tabel 4.4	Pengeluaran Biaya Tiap Komponen .....	38
Tabel 4.5	Total Pengeluaran + Impor dari USA.....	39
Tabel 4.6	Total Pengeluaran + impor dari China .....	40
Tabel 4.7	Total Pengeluaran + impor dari Thailand.....	41

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kebutuhan energi Indonesia sebagai negara berkembang terus meningkat seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi, infrastruktur dan jumlah penduduk yang terus bertambah. Dari tahun 2000 dan 2014, tercatat Indonesia mengalami peningkatan permintaan energi sebesar 65%, bahkan diprediksi mengalami peningkatan sebesar 80% pada tahun 2030 [1]. Keterbatasan lahan, meningkatnya tingkat polusi udara akibat penggunaan bahan bakar fosil, dan partisipasi Indonesia dalam pergerakan transformasi energi menuju energi bersih, menyebabkan penggunaan energi baru dan terbarukan sebagai pembangkitan tenaga listrik dalam bentuk *Distributed Generator (DG)* menjadi bagian dari prioritas pemerintah [2]. Tenaga matahari sebagai salah satu sumber energi baru dan terbarukan memiliki potensi yang paling besar dan paling diminati di Indonesia. Tenaga matahari ini di proses menjadi energi listrik oleh Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Meningkatnya peminatan pemakaian panel surya juga didukung oleh pesatnya perkembangan teknologi dalam satu dekade ini [3]. Hal ini menyebabkan semakin baiknya tingkat efisiensi panel surya saat ini dan semakin menurunnya harga panel surya dari tahun ke tahun membuat alternatif sumber energi ini semakin populer saat ini. Banyak peneliti didunia yang menargetkan untuk menurunkan harga PV lebih dari tiga kali di masa mendatang [4]. Banyak industry menengah hingga besar di Indonesia yang tertarik untuk mulai menerapkan PLTS pada lahan usaha mereka, meskipun energi yang dihasilkan PLTS belum dapat dijual pada PLN, tetapi PLTS dapat menghemat pemakaian listrik cukup besar.

PT. Indonesia Kendaraan Terminal menjadi salah satu pelaku industry besar yang tertarik untuk menerapkan PLTS pada jaringan listrik mereka. Namun sebelum menjalankan menerapkan hal tersebut harus dilakukan analisa terlebih dahulu terhadap kelayakan investasinya. Alternatif-alternatif investasi seperti apa yang paling cocok dan paling menguntungkan dalam penerapan rencana ini. Oleh karena itu analisa kelayakan investasi perlu dilakukan.

### **1.2 Permasalahan**

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana menentukan jumlah komponen panel surya, inverter dan baterai yang dibutuhkan.
2. Bagaimanan menentukan besar daya yang dihasilkan panel surya berdasar radiasi matahari harian.
3. Bagaimana kelayakan investasi pemasangan PLTS dari segi ekonomi teknik.
4. Bagaimana alternatif-alternatif investasi dapat ditentukan.

### **1.3 Tujuan**

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui berapa banyak jumlah dari masing-masing komponen panel surya, inverter, dan baterai yang dibutuhkan.
2. Mengetahui besar daya yang dihasilkan panel surya berdasar radiasi matahari harian.
3. Mengetahui kelayakan investasi pemasangan PLTS dari segi ekonomi teknik.
4. Mengetahui alternatif-alternatif investasi yang menjadi pilihan.

### **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem Kelistrikan dari sistem kelistrikan PT. Indonesia Kendaraan Terminal
2. Simulasi pada program RETScreen
3. Kelayakan investasi pemasangan PLTS dari segi ekonomi teknik.

### **1.5 Metodologi**

Metode penelitian yang dilakukan pada Tugas Akhir ini adalah :

1. Studi Literatur  
Mempelajari beberapa hal sebagai dasar untuk pengerjaan penelitian seperti, mengenai solar panel, menghitung energi keluaran berdasarkan tingkat *irradiance*, dan penghitungan kelayakan investasi.
2. Pengumpulan Data  
Mencari data-data yang diperlukan dalam penelitian. Data dapat diperoleh melalui melalui pengukuran, atau dari studi literature.

- Data yang diperlukan dalam penelitian ini seperti data panel surya, data radiasi matahari harian, data suku bunga, dan lainnya.
3. Pengumpulan Data Radiasi Matahari  
Mencari data radiasi matahari harian. Data didapat dengan menggunakan software RETScreen, dengan cara memasukan koordinat lokasi penelitian, dan lokasi koordinat pengukuran
  4. Penghitungan Jumlah Komponen yang Dibutuhkan  
Penghitungan yang dilakukan untuk mendapatkan jumlah masing-masing komponen yang dibutuhkan, yaitu jumlah PV, SCC, inverter, dan baterai.
  5. Menghitung Jumlah Investasi Awal  
Jumlah investasi awal dihitung dengan menjumlah total semua pengeluaran awal yang di dapatkan dari pembelian komponen, pengiriman, harga impor, dan pajak masuk.
  6. Menghitung Alternatif-Alternatif Investasi  
Alternatif-alternatif investasi dihitung, untuk mendapatkan alternatif mana yang paling layak dilakukan.
  7. Melakukan Simulasi Dengan RETScreen  
Simulasi kelayakan investasi dilakukan dengan menggunakan software RETScreen.
  8. Analisa Data  
Hasil simulasi akan dibandingkan kemudian dilakukan analisa untuk mendapatkan kelayakan dari sistem dan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.
  9. Penulisan Buku  
Penusilan buku dilakukan sesuai dengan penelitian dan format yang telah ditentukan.

## **1.6 Sistematika**

**BAB I : Pendahuluan**

Bab 1 berisi pendahuluan tugas akhir. Dimana bagiannya berisi tentang latar belakang, permasalahan, tujuan penelitian, batasan-batasan masalah, metodologi pengerjaan secara singkat, sistematika penulisan, serta relevansi dari laporan tugas akhir.

**BAB II : Dasar Sistem Tenaga Listrik**

Bab 2 berisi teori penunjang yang menjadi acuan penulisan tugas akhir, meliputi elemen sistem tenaga, microgrid, panel surya, dan kelayakan ekonomi teknik.

**BAB III : Metodologi Penelitian**

Bab 3 berisi mengenai tahapan-tahapan atau alur pengerjaan yang dilakukan dalam pembuatan tugas akhir ini.

**BAB IV : Analisa Data**

Bab 4 berisi hasil analisis dari data-data yang telah didapat. Analisis yang diperlukan berupa, analisa energi dan komponen, analisa kelayakan ekonomi, dan Analisa lingkungan.

**BAB V : Kesimpulan**

Bab 5 berisi kesimpulan dari hasil analisa yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, dan juga menjawab batasan masalah penelitian ini. Serta berisi saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya.

## **1.7 Relevansi**

Tugas Akhir ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai berikut:

1. Menjadi referensi dalam melakukan analisis ekonomi teknik dengan metode yang diajukan di dalam laporan tugas akhir ini.
2. Menjadi referensi bagi akademisi yang melakukan penelitian yang berhubungan dengan penelitian di dalam laporan tugas akhir ini.

## BAB II DASAR SISTEM TENAGA LISTRIK

### 2.1 Elemen Sistem Tenaga

Kehadiran energi merupakan hal yang penting untuk menopang kehidupan masyarakat saat ini, dan cara yang paling efektif dan aman dalam menyalurkan energi kepada masyarakat yaitu melalui energi listrik. Pada pusat pembangkit sumber energi primer, yaitu bahan bakar fosil (minyak bumi, batubara, dan gas alam), dan sumber dari energi baru terbarukan (angin, air, matahari) diubah menjadi energi listrik. Sumber energi ini akan menggerakkan poros turbin sehingga menjadi sumber energi mekanik yang kemudian diubah menjadi energi listrik tiga fasa menggunakan generator sinkron [1]. Energi listrik inilah yang nantinya akan disalurkan kepada beban atau konsumen. Energi memiliki beberapa besaran yang perlu diperhatikan yaitu, tegangan, arus, daya, resistensi, induktansi, dan kapasitansi. Berikut merupakan penjelasan lebih rinci tentang besaran energi listrik yang perlu diperhatikan.



**Gambar 2.1** Transmisi Energi Listrik

#### 2.1.1 Tegangan Listrik

Tegangan listrik dapat diartikan sebagai perbedaan potensial listrik, yang menyebabkan perpindahan elektron antara dua titik dalam sebuah rangkaian listrik, melalui media konduktor. Tegangan listrik yang besarnya konstan atau tidak berubah-ubah disebut tegangan listrik searah (DC), dan tegangan listrik yang besarnya berubah-ubah dengan rentang nilai yang sama dalam waktu yang berkala disebut tegangan listrik bolak-balik (AC). Tegangan AC ini dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu, *single phase* dan *triple phase*. Tegangan listrik dinyatakan dalam satuan volt (V), dimana 1 volt dapat dinyatakan sebagai besarnya tekanan listrik yang dibutuhkan untuk mengalirkan arus listrik sebesar 1 Ampere melalui

konduktor listrik dengan resistansi 1 Ohm. Sesuai hukum Ohm, maka besaran tegangan listrik dapat dinyatakan melalui persamaan berikut:

$$V = I \cdot R \quad (2.1)$$

Dimana,

$V$  = tegangan listrik (V)

$I$  = arus listrik (A)

$R$  = nilai resistansi pada suatu konduktor ( $\Omega$ ).

Menurut PUIL 2000 [2], tegangan diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok, yaitu :

- a. Tegangan Ekstra Rendah  
Kurang dari 50  $V_{AC}$  atau 120  $V_{DC}$
- b. Tegangan Rendah (TR)  
50 – 1000  $V_{AC}$  atau 120 – 1500  $V_{DC}$
- c. Tegangan Menengah (TM)  
1000 – 35000  $V_{AC}$
- d. Tegangan Tinggi (TT)  
Lebih dari 35000  $V_{AC}$

### 2.1.2 Arus Listrik

Arus listrik merupakan besarnya muatan listrik yang dibawa oleh elektron yang berpindah dari satu titik ke titik lainya melalui media konduktor dalam sebuah rangkaian listrik pada satuan waktu. Arus listrik dinyatakan dalam satuan Ampere atau coulomb/detik. Maka besarnya arus listrik berdasarkan jumlah muatan dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$I = \frac{Q}{t} \quad (2.2)$$

Dimana,

$Q$  = jumlah muatan (C)

$t$  = waktu (s)

$I$  = kuat arus listrik (A).

1A = 1 C/s

Arus listrik dibagi menjadi dua yaitu arus listrik searah (DC/*direct current*), dan arus listrik bolak-balik (AC/*alternating current*).

### 2.1.3 Resistansi

Resistansi dapat diartikan sebagai besarnya hambatan yang diterima oleh muatan listrik yang berpindah pada sebuah penghantar. Dalam perpindahannya elektron akan tertahan atau mengalami benturan dengan

atom-atom dari penghantar tersebut. Resistansi memiliki satuan Ohm ( $\Omega$ ). Besarnya hambatan listrik dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu:

1. Panjang penghantar, semakin panjang penghantar yang dilalui muatan listrik, maka semakin banyak hambatan yang harus dilalui oleh elektron.
2. Suhu, besar kecilnya suhu mempengaruhi nilai resistansi pada penghantar
3. Luas penampang, semakin kecil diameter penghantar yang dilalui muatan listrik maka semakin padat juga jumlah resistensi yang harus dilalui oleh elektron.
4. Jenis Bahan, mempengaruhi besaran hambatan jenis sebuah penghantar. Semakin kecil nilai hambatan jenis sebuah penghantar maka semakin baik benda tersebut dalam menghantarkan muatan listrik

Maka resistansi pada suatu konduktor juga dapat diketahui melalui persamaan berikut :

$$R = \rho \times \frac{l}{A} \quad (2.3)$$

Dimana,

$\rho$  = konstanta resistivitas material pada konduktor ( $\Omega \cdot m$ )

$l$  = panjang konduktor (m)

$A$  = luas penampang konduktor ( $m^2$ )

#### 2.1.4 Reaktansi

Reaktansi adalah besarnya hambatan yang diterima oleh arus bolak-balik pada sebuah rangkaian listrik. Pada dasarnya reaktansi hanya terjadi pada arus AC, karena adanya komponen induktor dan kapasitor yang dapat melakukan perlawanan pada saat adanya perubahan tegangan atau arus listrik. Sedangkan arus DC yang tidak memiliki perubahan besar tegangan atau arus tidak mengalami reaktansi. Reaktansi memiliki dua jenis, reaktansi induktif, yaitu hambatan yang terjadi pada komponen induktor, dan reaktansi kapasitif, yaitu hambatan yang terjadi pada komponen kapasitor. Reaktansi dinyatakan dalam satuan Ohm. Reaktansi induktif memiliki persamaan sebagai berikut :

$$X_L = 2\pi fL \quad (2.4)$$

Sedangkan persamaan reaktansi kapasitif adalah :

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (2.5)$$

Dimana,

$X_L$  = Reaktansi induktif ( $\Omega$ )

$X_C$  = Reaktansi kapasitif ( $\Omega$ )

$f$  = Frekuensi (Hz)

$L$  = Induktansi (H)

$C$  = Kapasitansi (F)

### 2.1.5 Impedansi

Impedansi merupakan jumlah dari hambatan reaktansi dan hambatan resistor pada rangkaian arus bolak-balik (AC). Nilai impedansi dapat diketahui dengan menjumlahkan secara vektor nilai resistansi ( $R$ ) dengan reaktansi ( $X$ ). Sama seperti hambatan lainnya, impedansi dinyatakan dalam satuan Ohm. Nilai reaktansi sendiri didapatkan dari selisih antara nilai reaktansi induktif dan nilai reaktansi kapasitif, maka impedansi dapat dibentuk menjadi persamaan sebagai berikut :

$$Z = R + jX \quad (2.6)$$

dengan,

$$X = X_L - X_C \quad (2.7)$$

### 2.1.6 Daya Listrik

Daya listrik merupakan besarnya jumlah energi yang dihasilkan atau diserap oleh sebuah rangkaian listrik. Dalam sistem tenaga listrik, daya dapat juga diartikan sebagai tingkatan konsumsi energi listrik dalam sebuah rangkaian. Daya juga dapat didefinisikan sebagai jumlah energi yang mengalir per satuan waktu (Joule/s). Daya listrik dibagi menjadi tiga jenis, yaitu :

a. Daya Semu ( $S$ )

Daya semu atau daya total merupakan daya yang dihasilkan oleh perkalian tegangan efektif ( $V_{rms}$ ) dengan arus efektif ( $I_{rms}$ ). Dapat juga dihasilkan melalui penjumlahan vektoris antara daya aktif dan daya reaktif. Daya semu juga merupakan daya yang terukur pada alat ukur. Daya Semu memiliki satuan Volt Ampere (VA). Persamaan daya semu adalah :

$$S = V \cdot I \quad (2.8)$$

Dengan,  $S$  adalah daya semu (VA).

b. Daya Reaktif ( $Q$ )

Daya reaktif merupakan daya yang timbul akibat adanya efek induksi elektromagnetik oleh beban induktif atau kapasitif. Daya reaktif juga merupakan daya yang diperlukan dalam pembentukan medan magnet pada kumparan yang bersifat induktif. Daya reaktif memiliki satuan Volt-Ampere Reaktif (VAR). Persamaan dari daya reaktif adalah :

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (2.9)$$

Dengan, adalah daya reaktif (VAR)

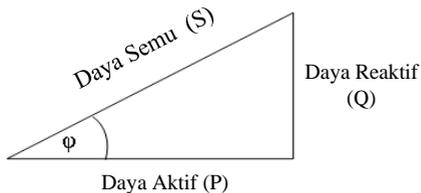
c. Daya Aktif (P)

Daya aktif atau daya nyata merupakan daya yang dibutuhkan atau dikonsumsi oleh beban. Daya aktif dihasilkan melalui perkalian daya semu dengan faktor daya ( $\cos \varphi$ ). Daya aktif memiliki satuan Watt (W). Persamaan daya aktif adalah :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (2.10)$$

Dengan,  $P$  adalah daya aktif (W) dan  $\varphi$  merupakan sudut yang dibentuk antara tegangan dan arus.

Hubungan antara ketiga daya tersebut dapat digambarkan ke bentuk segitiga, yang biasa disebut sebagai segitiga daya seperti pada Gambar 2.2.

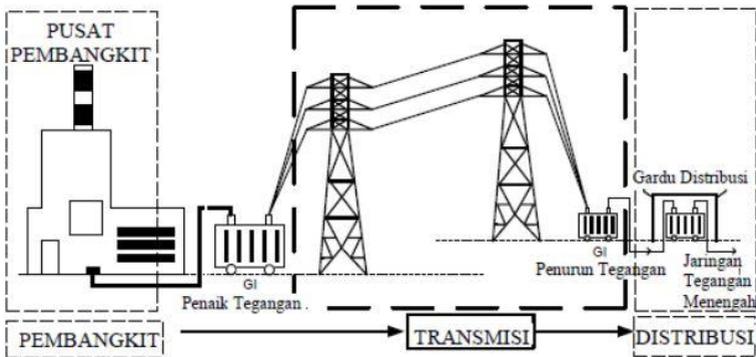


**Gambar 2.2** Segitiga daya

## 2.2 Sistem Tenaga Listrik

Dalam proses penyaluran energi listrik dari pembangkit, energi listrik akan melalui komponen-komponen sebelum sampai pada beban atau konsumen. Energi listrik ini akan terlebih dahulu dinaikan tegangannya melalui transformator penaik tegangan (*step-up transformer*). Energi listrik ini kemudian akan disalurkan melalui transmisi tegangan tinggi menuju pusat-pusat beban, hal ini yang disebut

transmisi. Proses penaikan tegangan melalui transformator penaik tegangan ini dimaksudkan agar besar arus ( $I$ ) yang mengalir pada sistem transmisi tegangan tinggi ini tidak tinggi, sehingga dapat mengurangi rugi panas ( $I^2R$ ) pada proses penyalurannya. Sebelum energi listrik ini samapai kepada konsumen, tegangan nya kembali diturunkan melalu transformator penurun tegangan (*step-down transformer*), yang kemudian dapat didistribusikan pada beban listrik Konsumen, atau disebut saluran distribusi [1]



**Gambar 2.3** Diagram sederhana sistem tenaga listrik

### 2.2.1 Pembangkit

Pembangkit berfungsi untuk membangkitkan energi listrik melalui proses konversi sumber daya energi primer menjadi energi listrik. Pusat pembangkit listrik saat ini terbagi menjadi 2 yaitu pusat pembangkit energi konvensional, dan pusat pembangkit energi baru terbarukan [1]. Pusat pembangkit energi konvensional mencakup:

a. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pada pembangkit tenaga listrik ini, bahan bakar minyak, gas alam, atau batubara digunakan untuk memanaskan air dalam boiler hingga menjadi uap. Uap ini kemudian digunakan untuk memutar turbin yang dihubungkan langsung pada sebuah generator sinkron. Kemudian uap yang telah bertekanan rendah kembali disalurkan kepada kondensor yang menyebabkan uap kembali menjadi air yang disalurkan kembali kepada boiler.

b. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

Pada pembangkit listrik tenaga gas, udara yang dimasukkan kedalam kompresor akan ditekan secara bersama-sama yang kemudian akan disalurkan kepada ruang pembakaran dimana udara bertekanan tinggi ini mengalami proses pembakaran. Udara panas ini dijadikan fluida kerja yang memutar turbin bersudu yang terhubung langsung dengan generator sinkron.

c. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)

Pembangkit listrik tenaga nuklir memiliki siklus yang hampir sama dengan PLTU, perbedaannya terdapat pada bahan bakar yang digunakan untuk memanaskan air untuk dijadikan uap bertekanan. Bahan galian uranium dan thorium merupakan bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan reaksi yang mengeluarkan panas. Panas tersebut digunakan untuk memanaskan air sehingga menjadi uap yang kemudian uap ini melalui proses yang sama seperti pada PLTU.

d. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Pada pembangkit listrik tenaga air biasanya memanfaatkan fasilitas bendungan yang memiliki perbedaan ketinggian permukaan air pada bendungan dengan ketinggian air pada saluran. Perbedaan ketinggian air ini dimanfaatkan untuk menerjukan air yang diarah kepada turbin. Tinggi terjun air ini menghasilkan energi kinetik yang kemudian memutar turbin-turbin.

### 2.2.2 Saluran Transmisi

Saluran transmisi merupakan suatu saluran berupa konduktor panjang yang berfungsi untuk mengalirkan listrik dari pembangkit yang telah dinaikan tegangannya dengan menggunakan trafo penaik tegangan (*step-up transformer*) ke pusat beban. Tujuan tegangan listrik dinaikan pada saluran transmisi yaitu untuk memperkecil rugi-rugi energi listrik berupa rugi panas pada saluran tersebut. Saluran transmisi memiliki komponen berupa, konduktor, isolator terhadap *ground*, dan infrastruktur. Berdasarkan besar tegangan kerjanya, saluran transmisi dibagi menjadi beberapa jenis.

Berikut adalah jenis saluran transmisi berdasarkan tegangannya:

a. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)

= Tegangan kerja : 200 - 500 kV

b. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT)

- = Tegangan kerja : 30 – 150 kV
- c. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) dan Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM)
  - = Tegangan kerja : 6 – 30 kV
- d. Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR) dan Saluran Kabel Tegangan Rendah (SKTR)
  - = Tegangan kerja : 40 – 1000 V

### 2.2.3 Saluran Distribusi

Jika saluran transmisi digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik bertegangan tinggi dari pembangkit kepada pusat-pusat beban, maka saluran distribusi memiliki fungsi untuk menyalurkan tenaga listrik itu kepada pihak konsumen melalui saluran tegangan rendah. Berdasarkan besar tegangannya, saluran distribusi dibagi menjadi dua bagian, yaitu :

- a. Sistem Distribusi Tegangan Menengah (primer)
  - = Tegangan kerja : 1 – 35 kV
- b. Sistem Distribusi Tegangan Rendah (sekunder)
  - = Tegangan kerja :  $\leq 1$  kV

Sistem distribusi tegangan menengah dapat menggunakan saluran udara maupun saluran tanah sesuai kondisi lingkungan serta efisiensi yang dibutuhkan. Terdapat beberapa konfigurasi jaringan untuk jaringan distribusi menengah. Konfigurasi jaringan yang umum digunakan di dalam sistem distribusi adalah konfigurasi radial, ring, spindel, dan jala-jala (*mesh*).

### 2.3 Microgrid

*Microgrid* adalah sebuah sistem distribusi listrik yang terdiri dari beberapa *Distributed Generator (DG)*, *Energy Storage*, dan beban. Dapat bekerja secara sinkron dengan grid utama saat terhubung dengan grid utama, dan dapat bekerja secara mandiri ketika tidak terhubung dengan grid utama (*islanded mode*), dengan mengandalakan sumber energi terdistribusi dalam sistemnya. Microgrid memiliki karakteristik diantaranya:

1. Kemampuan untuk beroperasi secara mandiri tidak terhubung dengan grid utama atau terhubung dengan grid utama.
2. Memiliki satu atau lebih titik koneksi kepada grid utama.
3. Kemampuan untuk beroperasi dengan menggunakan sumber energi terdistribusi yang merupakan sumber energi

terbarukan, termasuk didalamnya komponen penyimpan energi dan beban secara terkordinasi dan terkendali baik dalam kondisi sistem terhubung dengan grid utama atau sistem bekerja secara mandiri.

4. Mampu bekerja terkordinasi secara *real time* dengan grid utama sehingga mampu mengoptimalkan performansi sistem dan mengurangi biaya operasional.

Sebagai sistem tenaga listrik yang menggunakan *renewable energy* sebagai sumber pembangkit energinya, sistem skala kecil ini tergolong sistem ramah lingkungan, karena sistem ini memiliki komponen penyimpan energi dan panas. Disaat daya yang dibangkitkan oleh *renewable energy* melebihi dari permintaan dalam region tersebut maka daya tersebut akan disimpan dalam *energy storage*.

### **2.3.1 Distributed Generation (DG)**

*Distributed generation* seperti namanya merupakan teknologi pembangkit listrik berskala kecil yang letaknya tersebar di dekat pusat-pusat beban. Sebenarnya kalsifikasi berskala kecil sendiri bisa di artikan bermacam-macam, namun untuk DG yang biasa digunakan pada saluran distribusi primer dan sekunder biasanya memiliki ukuran dibawah 10MW [4]. Sumber energi dari DG bisa merupakan sumber *renewable* (angin, panas matahari, air,biomass) atau *non-renewable* (diesel, uap, fuel cell). Karena peletakan DG yang tersebar maka DG dapat diintegrasikan dengan sistem distribusi untuk memenuhi kebutuhan beban.

#### **2.3.1.1 Energy Storage**

Sumber energi dari alam yang berubah-ubah menjadi tantangan tersendiri bagi penggunaan Sumber Energi Baru Terbarukan (SEBT). *Wind turbin* dan *PV* sebagai pembangkit yang menggunakan SEBT tidak dapat memenuhi kebutuhan daya setiap saat. *Energy storage* adalah komponen yang dibutuhkan dalam sistem *microgrid* terutama *stand-alone microgrid*. *Energy storage* dapat menunjang ketersediaan daya yang dibutuhkan beban dan mengurangi ketergantungan pada grid utama.

#### **2.3.1.2 Wind Turbin**

Wind turbin merupakan pembangkit listrik Energi Baru Terbarukan (EBT) yang menggunakan energi angin sebagai energi pembangkitannya. Wind turbin menangkap energi kinetik angin pada rotornya yang memiliki dua atau lebih blades yang terhubung secara mekanik pada generator. Turbin diletakkan pada tempat yang tinggi supaya energi angin yang di tangkap lebih besar. Terdapat 2 jenis

konfigurasi pemasangan blades untuk desain turbin, konfigurasi *horizontal-axis* dan konfigurasi *vertical-axis*.

## 2.4 Panel Surya

Panel surya adalah sebuah perangkat yang dapat mengubah energi dari cahaya matahari menjadi energi listrik. Panel surya menggunakan efek *photovoltaic* dalam merubah kedua bentuk energi tersebut. Efek *photovoltaic* adalah sebuah fenomena dimana munculnya energi listrik karena adanya kontak dari dua elektroda, dimana keduanya dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat mendapatkan energi cahaya [5]. Oleh karena itu perangkat ini sering disebut sel *photovoltaic* (PV). PV berbeda dengan *solar hot water* atau *solar heating system*, dimana yang dimanfaatkan disini adalah panas matahari untuk memanaskan air. Panel surya memiliki beberapa keuntungan sebagai berikut:

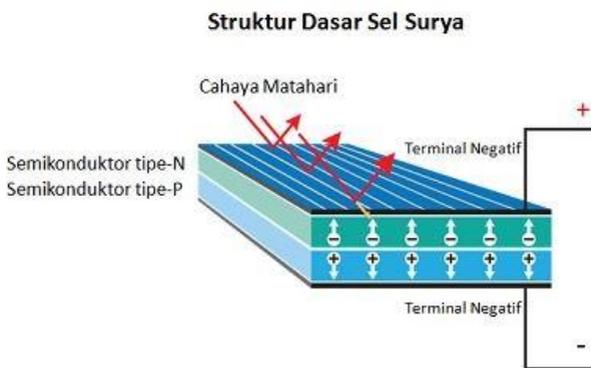
- Sumber daya energi matahari yang melimpah dan berkelimpahan.
- Tidak memiliki dampak buruk kelingungan.
- Operasi yang sunyi sehingga tidak menghasilkan polusi suara.
- Umur peralatan yang panjang dapat mencapai 30 tahun.
- Keuntungan jangka panjang yang besar, karena tidak memerlukan banyak perawatan yang mahal.



**Gambar 2.4** Panel Surya [6]

### 2.4.1 Cara Kerja Panel Surya

Fenomena *photovoltaic* pertama kali ditemukan oleh Edmond Becquerel pada 1839, dimana dalam observasinya ditemukan bahwa beberapa bahan dapat menghasilkan arus listrik saat terkena cahaya matahari. Untuk mendapatkan efek ini maka dua lapisan bahan semikonduktor harus digabungkan. Ketika sinar matahari menabrak kulit terluar dari semikonduktor ini, partikel kecil foton yang dibawa oleh sinar matahari akan menabrak atom semikonduktor. Tabrakan antara foton dan atom semikonduktor akan menimbulkan energi yang cukup besar yang dapat memisahkan elektron dari struktur atomnya. Elektron yang bersifat negative (-) tersebut akan bergerak bebas pada daerah konduksi dari material semikonduktor. Atom yang kehilangan elektron tersebut akan memiliki kekosongan pada struktur atomnya, kekosongan ini dinamakan "hole" dengan muatan positif (+). Semikonduktor dengan elektron bebas ini bertindak sebagai donor elektron dan bersifat negatif, disebut dengan semikonduktor tipe N (*N-type*). Sedangkan semikonduktor dengan hole bertindak sebagai penerima dinamakan semikonduktor tipe p (*P-type*). Pada persimpangan antara semikonduktor negatif dan positif (P-N junction), akan menimbulkan energi yang membuat elektron bergerak menjauhi daerah negatif, sedangkan hole bergerak menjauhi daerah positif. Ketika diberikan sebuah beban pada persimpangan P-N ini, maka akan menimbulkan arus listrik.



**Gambar 2.5** Cara Kerja Panel Surya [7]

Ada 3 kemungkinan yang terjadi pada saat foton yang dibawa oleh sinar matahari menabrak semikonduktor:

- Foton dapat diserap
- Dapat dipantulkan kembali
- Dapat menembus bahan semikonduktor

## **2.4.2 Jenis Bahan Panel Surya**

### **2.4.2.1 *Monocrystalline***

Jenis ini terbuat dari batangan kristal yang diiris tipis-tipis, karena sel surya berasal dari batang kristal yang sama maka setiap irisnya memiliki karakteristik yang identik. Sehingga efisiensi dari bahan ini sangat tinggi karena bisa mencapai 15% hingga 20%. *Monocrystalline* memiliki *lifespan* antara 25 tahun sampai 30 tahun. Tingkat efisiensinya akan semakin berkurang seiring bertambah tua usianya.

### **2.4.2.2 *Polycrystalline***

Jenis ini terbuat dari beberapa batang kristal yang dilebur bersama kemudian dituangkan kedalam cetakan berbentuk persegi. Kemurnian dari *polycrystalline* tidak sebaik *monocrystalline* karena tidak terbuat murni dari satu bahan saja. Efisiensi dari bahan ini antara 13% hingga 16%. *Polycrystalline* memiliki *lifespan* antara 20 tahun sampai 25 tahun. Sama seperti *monocrystalline*, bahan ini juga akan menurun tingkat efisiensinya semakin tua umurnya.

### **2.4.2.3 *Thin-film Solar Cell (TFSC)***

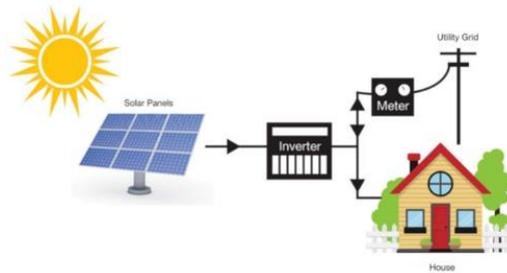
Jenis ini terbuat dari bahan fotosintesis yang sangat tipis dan ditumpuk pada substrat murah seperti kaca dan plastik. Jenis sel surya ini memiliki kerapatan atom yang rendah, sehingga mudah dibentuk kedalam berbagai macam bentuk dan potongan. Jenis ini memiliki biaya produksi yang paling murah. TFSC memiliki tingkat efisiensi antara 5% hingga 13%, dan meliki *lifespan* antara 15 tahun hingga 20 tahun.

## **2.4.3 Tipe Operasi Panel Surya**

### **2.4.3.1 *On-Grid System***

Sistem operasi *on-grid* seperti namanya merupakan sistem operasi dimana panel surya tetap terhubung dengan grid utama yaitu PLN. Dalam sistem operasi ini grid utama dapat menangani kekurangan atau kelebihan

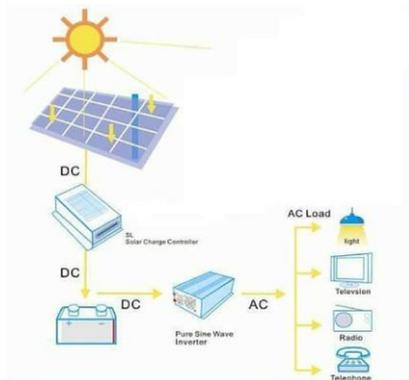
energi dari panel surya, sehingga panel surya dapat bekerja untuk menghasilkan energi semaksimal mungkin, karena kestabilan energinya akan disuplai oleh grid utama [8]. Energi yang dihasilkan panel surya dapat mengurangi kebutuhan listrik dari PLN, sehingga memiliki keuntungan menghemat tagihan listrik. Sistem *on-grid* disebut sistem yang paling mudah diaplikasikan dan paling *cost-effective*. Penghematan sistem ini akan memberikan pengembalian biaya pemasangan (*payback period*) antara 7 tahun sampai 9 tahun tergantung pada ukuran instalasinya.



**Gambar 2.6** *On-Grid* PV [9]

#### 2.4.3.2 *Off-Grid* System

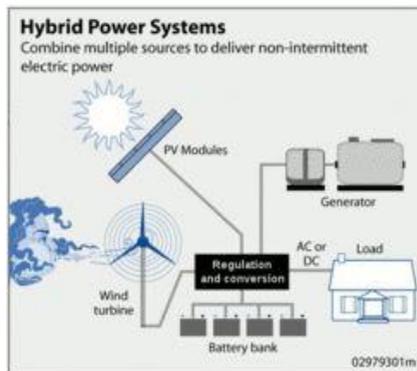
Sistem operasi *off-grid* seperti namanya merupakan sistem operasi dimana panel surya bekerja terpisah dari grid utama yaitu PLN. Dalam hal ini panel surya berperan sebagai satu-satunya sumber energi bagi beban. Energi berlebih akan di simpan pada baterai, dan akan digunakan kembali saat intensitas cahaya matahari sedang tidak baik, sehingga komponen baterai menjadi komponen yang sangat penting pada sistem operasi ini. Di Indonesia menteri ESDM menyarankan konsumen yang menggunakan sistem operasi *off-grid* untuk menggunakan baterai yang dapat menyuplai cadangan energi minimal 3 hari.



**Gambar 2.7** *Off-Grid PV* [10]

### 2.4.3.3 Hybrid System

Sistem operasi *hybrid* adalah sistem operasi dimana satu atau lebih sumber energi bekerja bersama panel surya dalam memasok energi bagi beban, biasanya berupa generator diesel, mikrohidro, dan tenaga angin. Dalam sistem operasi ini panel surya bertugas sebagai pemasok energi primer, dimana sumber energi lain bertugas untuk mengisi selisih energi yang dihasilkan panel surya dengan energi yang dibutuhkan beban. Sistem operasi ini biasa digunakan pada daerah yang tidak terjangkau jaringan grid utama PLN.



**Gambar 2.8** *Hybrid System* [11]

## 2.5 Analisis Ekonomi Teknik

Analisis ekonomi teknik merupakan analisa yang dilakukan terhadap rencana investasi teknik. Tujuan dari analisis ini adalah untuk menguji kelayakan dari sebuah proposal investasi teknik. Biasanya dari hasil analisis ini didapatkan 2 macam keputusan. Pertama keputusan ya atau tidak, yaitu keputusan apakah proposal investasi ini layak dilaksanakan atau tidak. Kedua adalah keputusan alternatif investasi, dari analisis ekonomi teknik akan didapatkan alternatif-alternatif investasi yang akan diberikan kepada pihak investor, nantinya pihak investor akan memilih mana alternatif yang paling baik dan yang paling menguntungkan. Analisis ini memerlukan pengetahuan dari segi teknis, dan kinerja ekonomis yang harus dievaluasi [12]. Untuk melakukan evaluasi kinerja ekonomis diperlukan:

- Estimasi biaya investasi yang dikeluarkan. Biasanya biaya investasi terjadi di awal, meskipun tidak semuanya seperti itu.
- Estimasi biaya operasional dan perawatan pertahunnya saat proyek sudah berjalan.
- Estimasi nilai sisa sistem saat sudah mau diganti atau tidak digunakan lagi.
- Estimasi lamanya sistem bisa beroperasi.
- Estimasi perubahan suku bunga yang menggambarkan perubahan nilai mata uang dari waktu ke waktu.

Kata estimasi banyak digunakan dalam analisis ekonomi teknik, menunjukkan bahwan analisi ekonomi teknik banyak bergantung pada data-data yang belum pasti karena menyangkut masa depan atau masa yang akan datang yang sangat sulit untuk diprediksi. Sehingga semua keputusan yang diambil dalam analisis ekonomi teknik mengandung resiko. Jika analisis teknik dilakukan orang yang ahli di bidang teknik mereka maka keputusan yang di dapat akan memiliki resiko yang minim.

### 2.5.1 *Net Present Value* (NPV)

*Net Present Value* (NPV) adalah aliran kas masuk dan aliran kas keluar pada sebuah periode waktu. NPV biasanya digunakan untuk menganalisa keuntungan dan kelayakan suatu proyek investasi. Nilai NPV yang positif menunjukkan bahwa aliran kas masuk pada sebuah proyek investasi lebih besar dari pada aliran kas keluaranya dalam periode

investasi. Hal ini menunjukkan bahwa investasi yang dilakukan menghasilkan keuntungan. Sedangkan jika nilai NPV negatif maka aliran kas masuk akan diprediksi akan lebih kecil dari aliran kas keluar, sehingga investasi akan merugi. NPV dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$NPV = \sum_{t=1}^N \frac{C_t}{(1+i)^t} - C_0 \quad (2.11)$$

Dimana,

NPV = *Net Present Value*

$C_t$  = Arus kas per tahun dalam periode t

$C_0$  = Nilai investasi awal pada tahun ke-0

r = Suku bunga atau discount rate

t = Periode investasi

### 2.5.2 Internal Rate of Return (IRR)

Saat investasi berjalan, akan ada saat tertentu dimana terjadi keseimbangan antara semua keluaran dan semua pemasukan yang didapat oleh investasi tersebut. Keseimbangan ini akan terjadi pada tingkat bunga tertentu. Tingkat bunga yang menyebabkan keseimbangan itu di sebut *Rate of Return* (ROR) [12]. ROR adalah suatu kondisi dimana tingkat pendapatan menyebabkan nilai NPW (*Net Present Worth*) sama dengan nol. Hal ini dapat dituliskan ke dalam persamaan:

$$NPW = PW_R - PW_E = 0 \quad (2.12)$$

Atau,

$$\sum_{t=0}^N R_t(P/F, i\%, t) - \sum_{t=0}^N E_t(P/F, i\%, t) = 0$$

Dimana,

$PW_R$  = nilai *Present Worth* dari semua pemasukan (aliran kas positif)

$PW_E$  = nilai *Present Worth* dari semua pengeluaran (aliran kas negatif)

$R_t$  = Penerimaan neto yang terjadi pada periode ke-t

$E_t$  = Pengeluaran neto yang terjadi pada periode ke-t, termasuk investasi awal.

Ada beberapa jenis ROR pada ekonomi teknik yaitu, *Internal Rate of Return* (IRR), *External Rate of Return* (ERR), dan *Explicit*

*Reinvestment Rate of Return* (ERRR). Dikatakan ROR itu merupakan IRR apabila setiap hasil yang diperoleh dari investasi itu langsung diinvestasikan kembali pada tingkat ROR yang sama. Apabila hasil keuntungan diinvestasikan pada bidang lain maka disebut ERR.

### **2.5.3 Benefit Cost Ratio (BCR)**

*Benefit Cost Ratio* merupakan perbandingan antara nilai sekarang dari pendapatan dan nilai sekarang dari pengeluaran selama periode investasinya. Jika nilai dari BCR lebih besar dari 1 maka investasi tersebut dinyatakan layak dilakukan.

$$BCR = \frac{\sum Benefit}{\sum Cost} \quad (2.13)$$

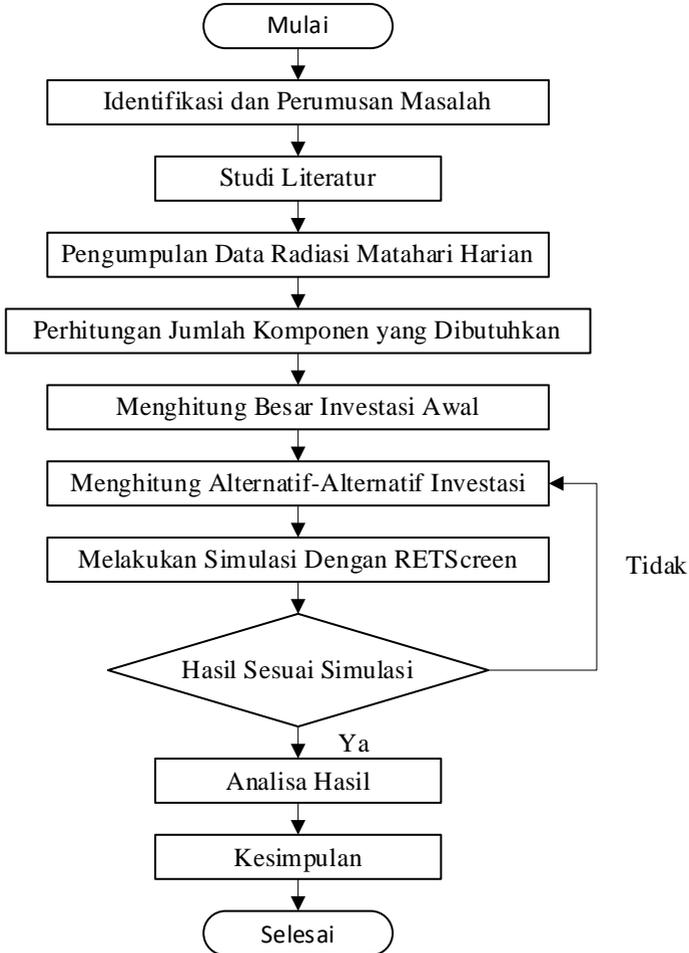
### **2.5.4 Payback Periode (PP)**

*Payback Periode* merupakan waktu yang dibutuhkan sebuah investasi untuk mengembalikan jumlah modalnya dari pendapatan yang didapat.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Alur pengerjaan tugas akhir ini dapat dijelaskan dengan flowchart:



**Gambar 3.1** *Flowchart* metodologi dalam menyelesaikan tugas akhir

### **3.1 Metodologi**

Metode yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

#### **3.1.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah**

Melakukan perumusan masalah atau topik yang akan dibahas pada penelitian ini. Pada penelitian ini topik utama yang akan dibahas adalah kelayakan pemasangan PLTS di segi energi dan ekonomi.

#### **3.1.2 Studi Literatur**

Studi literatur dilakukan dengan tujuan untuk mencari dasar teori, referensi dan informasi yang berkaitan dengan penelitian yang dilaksanakan. Sumber literatur dari penelitian dapat berupa jurnal, buku, makalah, paper, tugas akhir, dan thesis yang sudah dilakukan sebelumnya. Beberapa hal yang harus dicari sebagai dasar untuk pengerjaan penelitian yaitu mengenai solar panel, menghitung energi keluaran berdasarkan tingkat *irradiance*, dan penghitungan kelayakan investasi.

#### **3.1.3 Pengumpulan Data Radiasi Matahari**

Mencari data radiasi matahari harian. Data didapat dengan menggunakan software RETScreen, dengan cara memasukan koordinat lokasi penelitian, dan lokasi koordinat pengukuran.

#### **3.1.4 Penghitungan Jumlah Komponen yang Dibutuhkan**

Penghitungan yang dilakukan untuk mendapatkan jumlah masing-masing komponen yang dibutuhkan, yaitu jumlah PV, SCC, inverter, dan baterai.

#### **3.1.5 Menghitung Jumlah Investasi Awal**

Jumlah investasi awal dihitung dengan menjumlah total semua pengeluaran awal yang di dapatkan dari pembelian komponen, pengiriman, harga impor, dan pajak masuk.

#### **3.1.6 Menghitung Alternatif-alternatif Investasi**

Alternatif-alternatif investasi dihitung, untuk mendapatkan alternatif mana yang paling layak dilakukan.

#### **3.1.7 Melakukan Simulasi dengan RETScreen**

Simulasi kelayakan investasi dilakukan dengan menggunakan software RETScreen.

#### **3.1.8 Analisa Hasil**

Analisa hasil yang didapat dari alternatif-alternatif investasi. Melakukan evaluasi terhadap perhitungan dengan simulasi pada RETScreen.

### 3.1.8 Kesimpulan

Menarik Kesimpulan dari alternatif-alternatif investasi yang dianalisa untuk menentukan alternatif yang paling baik, serta pemberian saran.

### 3.2 Profil Perusahaan PT. Indonesia Kendaraan Terminal

PT. Indonesia Kendaraan Terminal adalah perusahaan yang menyediakan jasa layanan terminal kendaraan yang beroperasi pada Jl. Sindang Laut No. 100, Pelabuhan Tanjung Priok, Jakarta, Indonesia. PT. Indonesia Kendaraan Terminal dirancang khusus sebagai terminal komersial yang menyediakan layanan terminal mobil. Layanan yang diberikan termasuk *stevedoring*, *Cargodoring*, *Receiving*, dan *delivery*. Saat ini juga menyediakan jasa layanan tol laut dan tol maritime sebagai usaha dalam mendukung kegiatan pemerintah.

Pada mulanya PT. Indonesia Kendaraan Terminal hanya sebagai *strategic business unit* dari PT. Pelabuhan Indonesia II (Persero), yang kemudian pada tanggal 1 Desember 2012 didirikan sebagai entitas bisnis tersendiri.



**Gambar 3.1** Layout PT. Indonesia Kendaraan Terminal



Gambar 3.2 Logo PT. Indonesia Kendaraan Terminal

### 3.3 RETScreen

RETScreen merupakan software yang dikembangkan oleh pemerintah Kanada, yang memulai debutnya pada acara *Clean Energy Ministerial* tahun 2016. RETScreen adalah *software* manajemen *renewable energy*, dimana biasa digunakan untuk analisis efisiensi energi, energi terbarukan, dan analisis kelayakan investasi. RETScreen menyediakan lembar-lembar kerja analisis berupa, analisis energi, analisis biaya, analisis emisi, analisis keuangan, dan analisis resiko untuk diterapkan pada perencanaan proyek sumber energi listrik terbarukan.



Gambar 3.3 Tampilan Awal Software RETScreen.

## BAB IV ANALISA DATA

### 4.1 Deskripsi Umum

Simulasi pemanfaatan energi solar panel, dan analisa ekonomi dilakukan dengan menggunakan software RETScreen. Beberapa data yang diolah didapatkan dari hasil simulasi software RETScreen seperti tingkat radiasi matahari harian pada lokasi yang dijadikan penelitian, dan data diambil dari PT. Indonesia Kendaraan Terminal.

### 4.2 Analisa Energi dan Komponen

Simulasi energi dilakukan dengan menggunakan software RETScreen Clean Energy Project Analysis Software untuk mendapatkan data tingkat radiasi matahari harian pada titik lokasi penelitian.

#### 4.2.1 Menentukan Tingkat Radiasi Matahari Harian

Lokasi untuk tingkat radiasi matahari harian yang diambil yaitu pada PT. Indonesia Kendaraan Terminal yang berlokasi pada Jl. Sindang Laut No. 100, Cilincing, Jakarta Utara. Setelah mengetahui lokasi perlu dicari titik kordinatnya untuk dimasukkan kedalam RETScreen, didapatkan titik kordinatnya pada -6.1,106.9.

Kondisi daerah asuan  
Lokasi data iklim: Indonesia - Jakarta  
Lokasi fasilitas: Indonesia - Jakarta - Jakarta

**Legenda**  
Lokasi fasilitas  
Lokasi data iklim

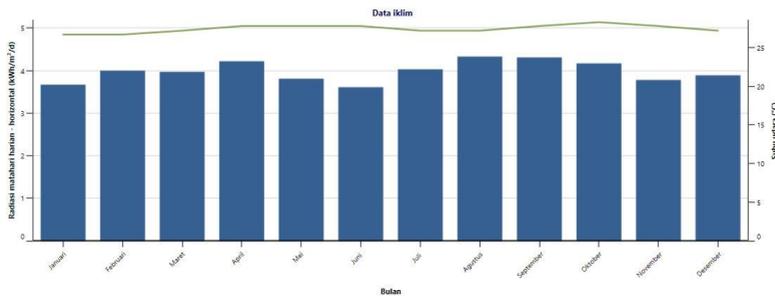
Unit	Lokasi data iklim	Lokasi Fasilitas	Sumber
Garis lintang	-6.3	-6.1	
Garis bujur	106.8	106.9	
Zona iklim	DA - Luar biasa panas - Lembap		Tanah - NASA
Ketinggian	8	3	Tanah - Peta
Suhu rancangan pemanasan	22.9		Tanah
Suhu rancang pendinginan	33.9		Tanah
Suhu bumi amplitudo	6.2		NASA

**Gambar 4.1** Lokasi Pengambilan Data

Setelah dimasukan titik lokasi akan didapatkan hasil seperti suhu udara, curah hujan, radiasi matahari harian, dan lainnya. Hasil ini didapatkan dari data yang dimiliki NASA, serta ada data dari pengukuran tanah.

Bulan	Suhu udara	Kelembaban relatif	Curah hujan	Radiasi matahari harian - horizontal	Tekanan atmosfer	Laju angin	Suhu bumi	Derajat pemanasan - hari	Suhu pendinginan-hari
	°C	%	mm	kWh/m <sup>2</sup> /d	kPa	m/k	°C	°C-d	°C-d
Januari	26.7	85.5%	309.69	3.67	100.8	3.1	26.0	0	518
Februari	26.7	83.5%	269.92	4.00	100.8	3.6	25.8	0	468
Maret	27.2	83.0%	209.56	3.97	100.8	3.6	26.3	0	533
April	27.8	82.5%	181.20	4.22	100.8	3.1	26.6	0	534
Mei	27.8	81.5%	142.29	3.81	100.7	3.1	26.7	0	552
Juni	27.8	79.5%	89.10	3.61	100.8	3.1	26.2	0	534
Juli	27.2	76.5%	72.85	4.03	100.8	3.6	25.9	0	533
Agustus	27.2	76.0%	65.10	4.33	100.9	3.6	26.2	0	533
September	27.8	74.5%	73.80	4.31	100.9	3.6	27.1	0	534
Oktober	28.3	76.0%	125.55	4.17	100.8	2.6	27.7	0	567
November	27.8	79.0%	186.00	3.78	100.8	2.6	27.3	0	534
Desember	27.2	81.5%	228.47	3.89	100.8	3.6	26.6	0	533
Tahunan	27.5	79.9%	1,953.53	3.98	100.8	3.3	26.5	0	6,373
Sumber	Tanah	Tanah	NASA	Tanah	Tanah	Tanah	NASA	Tanah	Tanah
Diukur pada					m	10	0		

Gambar 4.2 Data Radiasi Matahari Harian



Gambar 4.3 Grafik Data Iklim

#### 4.2.2 Penentuan Modul Solar Panel

Dalam pemilihan modul *solar panel* ada beberapa faktor yang harus dipertimbangkan, seperti bahan dari *solar panel*, efisiensi, dan kapasitasnya. Hal ini penting untuk diperhatikan karena akan mempengaruhi berapa besarnya energi yang akan dihasilkan oleh *solar panel*. Bahan dasar dari solar panel penting untuk diperhatikan karena jenis bahan mempengaruhi besarnya efisiensi dari panel surya, berikut data jenis bahan dan tingkat efisiensinya seperti pada gambar 4.4.

Bahan	Efisiensi di Laboratorium	Efisiensi dalam Produksi
Monocrystalline Silicone	24%	14% - 17%
Polycrystalline Silicone	18%	13% - 15%
Amorphous Silicone	13%	5% - 7%

**Gambar 4.4** Efisiensi Berdasarkan Jenis Bahan [a]

Dalam penelitian ini dipilih bahan yang akan digunakan adalah *mono-silicon*, karena dari bahan lainnya *mono-silicon* memiliki tingkat efisiensi yang paling besar. Serta bahan ini adalah jenis bahan yang paling umum digunakan untuk bidang usaha yang sedang peneliti jadikan bahan penelitian.

Kemudian harus ditentukan berapa kapasitas dari panel surya yang akan digunakan. Dalam penelitian ini diperlukan panel surya dengan kapasitas total 80 kW, sehingga dibutuhkan panel surya dengan kapasitas besar. Panel surya dari Grape Solar dengan model GS-S-410-Platinum menjadi pilihan peneliti, karena selain bahannya sesuai dengan yang diinginkan, kapasitas dari modul surya ini cukup besar yaitu 410 watts/modul dengan efisiensi 16%. Spesifikasi sebagai berikut:

**Tabel 4.1** Spesifikasi Panel Surya

Maximum power (Pmax)	=	410	Watt
Voltage maximum Power (Vmpp)	=	50,3	Volt
Current at maximum Power Point (Impp)	=	8,15	Ampere
Open Circuit Voltage (Voc)	=	61,1	Volt
Short Circuit Current (Isc)	=	8,77	Ampere
Modul Efisiensi	=	16	%
Temperature Coeff of Voc	=	-0,244	V/°C
Temperature Coeff of Isc	=	0,0044	A/°C
Temperature Coeff of Pmax	=	-2,05	W/°C

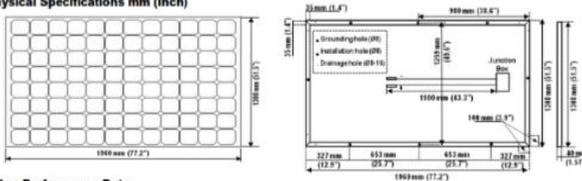
**Electrical Specifications**

(STC\* = 25 °C, 1000W/m<sup>2</sup> Irradiance and AM=1.5)

Model	GS-S-410-Platinum
Max. System Voltage (IEC/UL)	1000V / 600V
Maximum Power P <sub>max</sub>	410 W (-2%, +2%)
Voltage at Maximum Power Point V <sub>mp</sub>	50.3 V
Current at Maximum Power Point I <sub>mp</sub>	8.15 A
Open Circuit Voltage V <sub>oc</sub>	61.1 V
Short Circuit Current I <sub>sc</sub>	8.77 A
Module Efficiency (%)	16.0%
Temperature Coefficient of V <sub>oc</sub>	-0.244 V/°C (-0.40% /°C)
Temperature Coefficient of I <sub>sc</sub>	4.4x10 <sup>-3</sup> A/°C (0.05% /°C)
Temperature Coefficient of P <sub>max</sub>	-2.05 W/°C (-0.50% /°C)

\*Standard Test Conditions

**Physical Specifications mm (inch)**



**Other Performance Data**

Power Tolerance	Operating Temperature	Max Series Fuse Rating	NOCT*
-2%, +2%	-40 °C to +90 °C	15 A	47 °C ± 2 °C

Gambar 4.5 Datasheet Panel Surya

Setelah didapatkan modul surya yang akan dipakai maka dapat ditentukan berapa banyak modul surya yang harus dibeli untuk memenuhi rencana investasi awal yaitu 80 kWp. Penghitungan jumlah modul panel surya yang dibutuhkan dapat menggunakan rumus berikut,

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Panel Surya} &= \frac{P_{\text{watt peak}}}{P_{\text{max}}} \\
 &= \frac{80000}{410} \\
 &= 195,12 \\
 &\approx 195
 \end{aligned}$$

Dibulatkan kebawah karena P panel surya tidak boleh melebihi P inverter. Kemudian dihitung luas *solar collector area* yang dapat dihitung dengan menggunakan data pada *datasheet*.

$$\begin{aligned}
 \text{Solar collector area} &= 195 \times 2.565 \quad \text{m}^2 \\
 &= 500 \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

### 4.2.3 Menghitung Energi Output dari Panel Surya

Perlu diketahui bahwa daya input dari panel surya tidak 100% masuk kedalam inverter, karena dipengaruhi oleh rugi-rugi/losses dari komponen dan sistem [13].

**Tabel 4.2** Jumlah Rugi-Rugi

Rugi-rugi	%	Hasil Pengukuran (%)
Rugi polusi, kotoran dan debu	3,5	
Rugi suhu modul solar	1,5 – 13,0	5,5
Rugi kabel DC	2,0	
Rugi kabel AC	0,5	
Jumlah Rugi		11,5

Dari table dapat dihitung,

$$\begin{aligned} \text{Daya output PV/modul} &= 410 - (410 \times 115\%) && \text{watt} \\ &= 410 - 47,15 && \text{watt} \\ &= 362,85 && \text{watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Daya output seluruh PV} &= \text{daya output (termasuk rugi) x jumlah modul} \\ &= 362,85 \text{ watt} \times 195 \\ &= 70.755,75 && \text{watt/hari} \\ &= 70,75575 && \text{kW/hari} \end{aligned}$$

### 4.2.4 Performance Ratio

*Performance ratio* merupakan kelayakan dari panel surya dari energi yang dihasilkan pertahunnya. Sistem panel surya dinyatakan baik apabila *performance ratio* nya di 70 – 90%. Jika ingin menghitung energi yang dihasilkan rata-rata pertahun, maka dibutuhkan data rata-rata

lamanya matahari bersinar setiap harinya, atau disebut *Peak Sun Hour* (PSH), jika diambil dari data BMKG nilainya adalah 4.4.

$$\begin{aligned}
 P_{out} &= P_i \times PSH && \text{kWh} \\
 &= 70,75575 \times 4,4 && \text{kWh} \\
 &= 311,3 && \text{kWh} \\
 \text{Energy Yield} &= P_{out} \times 365 \text{ hari} \\
 &= 311,3 \text{ kWh} \times 365 \\
 &= 113.633,73 && \text{kWh/tahun} \\
 &= 113,63373 && \text{MWh/tahun} \\
 H_{tilt} &= PSH \times 365 \text{ hari} \\
 &= 4,4 \text{ h} \times 365 \text{ hari} \\
 &= 1606 \text{ h} \\
 E_{ideal} &= P_{Module} \times \text{jumlah modul} \times H_{tilt} \\
 &= 410 \times 364 \times 1606 \\
 &= 128.399.700 && \text{Wh/tahun} \\
 &= 128.399,7 && \text{kWh/tahun} \\
 \\ 
 \text{Performance Ratio} &= \frac{E_{yield}}{E_{ideal}} \\
 &= \frac{113.633,73}{128.399,7} \\
 &= 0,9 \\
 &= 90\%
 \end{aligned}$$

Maka *performance ratio* nya dinyatakan baik karena hasil masuk dalam nilai 70 – 90%.

#### 4.2.5 Energi yang Dihasilkan perTahun

Setelah mendapatkan data-data diatas maka dapat dihitung energi yang dihasilkan panel surya pertahunnya, dengan memasukan rumus :

$$\begin{aligned}
 \text{Energi dihasilkan} &= \text{Radiasi matahari miring} \times \text{Total hari dalam} \\
 &\quad \text{1 bulan} \times \text{solar collector area} \times \text{performance} \\
 &\quad \text{ratio} \times \text{PV factor} \times \text{Inverter factor.}
 \end{aligned}$$

Nilai radiasi miring dapat dimasukkan dari data yang didapat pada simulasi lokasi di RETScreen. Nilai Inverter factor akan dijelaskan pada sub-bab berikutnya. Maka didapatkan hasil pada table 4.3.

**Tabel 4.3** Energi yang Dihasilkan

Bulan	J. Hari	Radiasi	Energy Delivered	RETScreen
		kWh/m <sup>2</sup> /d	kWh	kWh
Januari	31	3.67	7031.55	7519
February	28	4	6922.15	7277
Maret	31	3.97	7606.33	7800
April	30	4.22	7824.51	7699
Mei	31	3.81	7299.78	7005
Juni	30	3.61	6693.48	6342
Juli	31	4.03	7721.29	7286
Agustus	31	4.33	8296.08	8033
September	30	4.31	7991.38	8025
Oktober	31	4.17	7989.52	8270
November	30	3.78	7008.68	7428
Desember	31	3.89	7453.06	7990
Total annual (kWh)			89837.81	90674
Total annual (MWh)			89.83781034	90.674

Bulan	Radiasi matahari harian - horizontal kWh/m <sup>2</sup> /d	Radiasi matahari harian - miring kWh/m <sup>2</sup> /d	Harga ekspor listrik \$/kWh	Listrik yang diekspor ke jaringan MWh
Januari	3.67	3.74	0.09	7.519
Februari	4.00	4.02	0.09	7.277
Maret	3.97	3.90	0.09	7.800
April	4.22	4.01	0.09	7.699
Mei	3.81	3.52	0.09	7.005
Juni	3.61	3.29	0.09	6.342
Juli	4.03	3.67	0.09	7.286
Agustus	4.33	4.05	0.09	8.033
September	4.31	4.18	0.09	8.025
Oktober	4.17	4.16	0.09	8.270
November	3.78	3.84	0.09	7.428
Desember	3.89	3.99	0.09	7.990
<b>Tahunan</b>	<b>3.98</b>	<b>3.86</b>	<b>0.09</b>	<b>90.675</b>

**Gambar 4.6** Energi yang Dihasilkan Dalam Simulasi

Jika dilihat hasil yang didapatkan dari hitung manual dan hasil yang didapat dari simulasi dengan menggunakan RETScreen maka hasil yang di dapat tidak terlalu berbeda. Maka untuk perhitungan selanjutnya total annual kWh yang akan digunakan untuk perhitungan manual adalah 89.837,81 kWh dan simulasi RETScreen 90.974 kWh. Perbedaan ini nantinya akan menimbulkan perbedaan hasil dari kedua perhitungan kedepannya.

#### 4.2.6 Perhitungan Kebutuhan Baterai

Dalam penelitian ini baterai menyimpan 30% energy dari panel surya. Jumlah baterai yang dibutuhkan untuk mendukung energi dari panel surya dapat dihitung dengan metode yang akan dijelaskan. Pertama ditentukan spesifikasi baterai yang diinginkan yaitu 200 Ah, 12 volt, dengan spesifikasi

Model	Voltage (V)	Capacity (AH)	Weight (KG)	Dimension(MM)				Terminal
				Lengt h	Width	Height	Total Height	
FCD-65	12	65	21.0	351	167	176	176	M8
FCD-100	12	100	30.5	307	169	211	215	M8
FCD-150	12	150	46.0	484	171	241	241	M8
FCD-180	12	180	56.6	532	206	216	221	M8
FCD-200	12	200	59.6	532	206	216	221	M8
FCD-220	12	220	64.8	522	240	219	225	M8
FCD-250	12	250	77.8	521	269	220	224	M8

**Gambar 4.7** Spesifikasi Baterai

$$\begin{aligned}
 \text{Battery Power} &= 30\% \times P_{\max} \text{ pv} \\
 &= 30\% \times 80000 \\
 &= 24000
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ah dibutuhkan} &= \frac{Ek}{V \times \text{Power Factor}} \\
 &= \frac{24000}{12 \times 0.9} \\
 &= 2.222,2222 \text{ Ah}
 \end{aligned}$$

Sesuai ketentuan penggunaan *deep cycle battery* yang hanya di-*discharge* sebanyak 50% dari kapasitas total, maka *Depth of Discharge* (DOD) diberlakukan pada baterai. Sehingga nilai kapasitas baterai yang didapat di kalikan 2.

$$\begin{aligned} \text{Ah dibutuhkan} &= 2 \times 2.222,2222 \\ &= 4.444,4444 \text{ Ah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah baterai} &= \frac{\text{Ah dibutuhkan}}{\text{Ah pada catalog}} \\ &= \frac{4.444,4444}{200} \\ &= 22,2222 \\ &\approx 23 \end{aligned}$$

Dibulatkan keatas agar jumlah baterai dapat memenuhi kebutuhan Ah. Jadi jumlah baterai yang dibutuhkan 23 buah.

#### 4.2.7 Inverter

Dalam pemilihan inverter penting diperhatikan  $P_{max}$  keluaran dari panel surya, karena kapasitas inverter harus mampu menampung seluruh energi yang dihasilkan panel surya. Sehingga dinyatakan kapasitas inverter harus lebih besar dari kapasitas panel surya, secara sistematis dapat ditulis sebagai berikut,

$$P_{inv} > P_{max \text{ pv}}$$

$$P_{inv} > 70,75575 \text{ kW}$$

Setelah itu dapat dipilih produk Inverter yang dirasa paling cocok untuk kebutuhan daya yang diinginkan. Kemudian setelah menemukan inverter yang ingin digunakan dapat dilakukan perhitungan berapa banyak inverter yang dibutuhkan.

Inverter yang akan dipakai adalah inverter KEHUA Tech dengan model SPI20K-B, dengan kapasitas maksimum 20kW. Maka jumlah inverter yang dibutuhkan dapat dicari sebagai berikut,

$$\begin{aligned} \text{N inverter} &= \frac{P_{maks}}{P_{maks \text{ inv}}} \\ &= \frac{70,75575 \text{ kW}}{20 \text{ kW}} \\ &= 3,5377875 \\ &\approx 4 \end{aligned}$$

Dibulatkan keatas karena Pinverter harus lebih besar.

$$P_{inv} > P_{max\ pv}$$

$$4 \times 20 \text{ kW} > 70,75575 \text{ kW}$$

$$80 \text{ kW} > 70,75575 \text{ kW}$$

Items	SPI12K-BL	SPI15K-B	SPI17K-B	SPI20K-B
DC Input				
Max. PV Input Voltage	1000Vdc			
Rated PV voltage	600Vdc			
Max. PV Input Current	44A(2x22A)	44A(2x22A)	44A(2x22A)	44A(2x22A)
No. of MPPTs	2			
No. of PV strings per MPPT	2/2			
MPPT voltage range	200Vdc-950Vdc			
Starting voltage	200Vdc			
AC Output				
Rated AC output power	12kW	15kW	17kW	20kW
Rated AC output voltage	380/400/415Vac			
Rated output current	17.4A	21.7A	24.6A	29.0A
Max. output current	17.4A	21.7A	24.6A	29.0A
Rated grid frequency	50Hz/60Hz			
Grid frequency range	45-55Hz/55-65Hz			
Power factor	>0.99 (full load)			
Adjustable power factor	0.8 (leading)-0.8 (lagging)			
THDi	<3% (rated power)			
Efficiency				
Max. efficiency	98.50%			98.60%
European efficiency	98.00%			98.30%

**Gambar 4.8** Datasheet inverter dari KEHUA Tech

#### 4.2.8 Pemasukan Data Pada RETScreen

Setelah semua data komponen yang diperlukan didapatkan, maka data ini bisa di-*input* kan kedalam RETScreen untuk dilakukan simulasi. Yang pertama di input adalah data panel surya, dan inverter. Pada RETScreen telah disediakan beberapa produk panel surya yang biasa digunakan, dan panel surya yang penulis gunakan yaitu panel surya dari Grape Solar telah tersedia di dalamnya.

Sel surya - Tingkat 2

**Analisa sumberdaya**

Modus pelacakan surya

Kemiringan

Azimut

Tunjukkan data

**Sel surya**

Tipe

Kapasitas daya  kW

Perusahaan manufaktur

Model

Jumlah unit

Efisiensi %

Suhu operasi sel nominal °C

Koefisien suhu % / °C

Area kolektor surya m<sup>2</sup>

Faktor penyesuaian sel surya dua sisi %

Kerugian lainnya %

**Pembalik**

Efisiensi %

Kapasitas kW

Kerugian lainnya %

**Gambar 4.9** Data Panel Surya Pada RETScreen

Data sudut azimuth matahari penulis dapat dengan menggunakan simulasi *Sun Path Program* yang disediakan *University of Oregon* pada website resminya. Dengan cara memasukan koordinat lokasi penelitian dan zona waktunya.

	Binjai	Jambi	Jakarta	Pontianak	Surabaya	Kupang	Manado	Jayapura
PVOUT								
Average daily total [kWh/kWp]	3.52	3.41	3.58	3.62	4.05	4.47	3.80	3.69
PVOUT								
Yearly total [kWh/kWp]	1287	1246	1309	1323	1480	1633	1389	1348
Optimum angle	2°	5°	10°	4°	12°	14°	1°	4°
PV system azimuth	180°	0°	0°	0°	0°	0°	180°	0°
Annual ratio of DIF/GHI	56.7%	61.8%	57.2%	53.8%	45.0%	33.9%	46.1%	50.3%
System PR	75.7%	76.7%	75.9%	76.2%	75.1%	74.9%	76.4%	76.4%

**Gambar 4.10** Data Sudut Azimuth [7]

### 4.3 Analisa Kelayakan Ekonomi

Analisa kelayakan ekonomi perlu dilakukan untuk melihat apakah investasi yang akan dilakukan layak untuk dilakukan atau tidak. Melalui analisis kelayakan ekonomi juga akan dilihat alternatif-alternatif investasi lainnya untuk mencari alternatif mana yang paling baik untuk dilakukan, dan alternatif investasi mana yang paling menguntungkan. Dalam melakukan analisa kelayakan ekonomi, masa proyek yang diberlakukan adalah 25 tahun, karena hal ini mengacu pada asuransi performa dari modul panel surya PV Grape Solar yang ditanggung selama 25 tahun. Alternatif besar pinjaman yang diberlakukan mengacu kepada aturan Bank Indonesia yang menyebutkan pinjaman untuk sebuah proyek adalah maksimum 70% dari *cost of project* yang dibiayai. Kurs rupiah yang dipakai dalam penelitian ini adalah 1\$ = Rp. 14,182.00.

#### 4.3.1 Biaya Pengadaan Komponen PLTS

Setelah didapat semua jumlah masing-masing dari komponen PLTS, maka dapat dicari harga persatuannya lalu dilakukan perhitungan total pengeluaran.

**Tabel 4.4** Pengeluaran Biaya Tiap Komponen

Item	Spec	Jml.	Harga (\$)	Total (\$)	Lokasi
Modul Surya	Grape Solar GS-S-410-Platinum	195	106.61	20,788.95	USA
Inverter	Kehua Tech SPI 20kW	4	6,504.35	26,017.40	China
Solar Charge (SCC)	Leonics MPPT	9	713.6	6,422.4	Thailand
Battery	LITHPOW ER Lifepo4 lithium ion	23	211.26	4,858.98	China

Karena semua komponen berasal dari luar negeri, maka harus dihitung juga biaya pengiriman, nilai kurs rupiah, dan juga pajak masuk barang sebagai tarif impornya.

**Tabel 4.5** Total Pengeluaran + Impor dari USA

Asal Negara			USA
Jenis Barang			Modul Surya
Harga Barang	USD	-	\$ 20,788.95
Freight	USD	Diketahui	\$ 1,314.00
Insurance	USD	0,5 x Harga Barang	\$ 10,394.48
CIF	USD	Hrg Brng + Frieght + Insurance	\$ 32,497.43
Kurs	IDR	Diketahui	Rp 14,182.00
Nilai Pabean	IDR	CIF x Kurs	Rp 460,878,481.35
Bea Masuk	IDR	5% x Nilai Pabean	Rp 23,043,924.07
Nilai Impor	IDR	Nilai Pabean + Bea Masuk	Rp 483,922,405.42
PPN	IDR	10% x Nilai Impor	Rp 48,392,240.54
PPh Psl 22	IDR	2,5% x Nilai Impor	Rp 12,098,060.14
Total Pungutan	IDR	Nilai Impor + PPN + PPh Psl 22	Rp 544,412,706.09

**Tabel 4.6** Total Pengeluaran + impor dari China

Asal Negara			China
Jenis Barang			Inverter & Battery
Harga Barang	USD	-	\$ 30,876.38
Freight	USD	Diketahui	\$ 520.00
Insurance	USD	0,5 x Harga Barang	\$ 15,438.19
CIF	USD	Hrg Brng + Frieight + Insurance	\$ 46,834.57
Kurs	IDR	Diketahui	Rp 14,182.00
Nilai Pabean	IDR	CIF x Kurs	Rp 664,207,871.74
Bea Masuk	IDR	5% x Nilai Pabean	Rp 33,210,393.59
Nilai Impor	IDR	Nilai Pabean + Bea Masuk	Rp 697,418,265.33
PPN	IDR	10% x Nilai Impor	Rp 69,741,826.53
PPh Psl 22	IDR	2,5% x Nilai Impor	Rp 17,435,456.63
Total Pungutan	IDR	Nilai impor + PPN + PPh Psl 22	Rp 784,595,548.49

**Tabel 4.7** Total Pengeluaran + impor dari Thailand

Asal Negara			Thailand
Jenis Barang			SCC
Harga Barang	USD	-	\$6,422.40
Freight	USD	Diketahui	\$565.00
Insurance	USD	0,5 x Harga Barang	\$3,211.20
CIF	USD	Hrg Brng + Frieght + Insurance	\$10,198.60
Kurs	IDR	Diketahui	Rp.14,182.00
Nilai Pabean	IDR	CIF x Kurs	Rp.144,636,545.20
Bea Masuk	IDR	5% x Nilai Pabean	Rp.7,231,827.26
Nilai Impor	IDR	Nilai Pabean + Bea Masuk	Rp.151,868,372.46
PPN	IDR	10% x Nilai Impor	Rp.15,186,837.25
PPh Psl 22	IDR	2,5% x Nilai Impor	Rp.3,796,709.31
Total Pungutan	IDR	Bea Masuk + PPN + PPh Psl 22	Rp.170,851,919.02

Maka jika dijumlah sumua jumlah biaya, maka didapatkan total investasi dari pembelian komponen PLTS.

Total investasi dari pembelian = Rp 1.499.860.173,00

### 4.3.2 Arus Kas Tahunan

Pada Penelitian ini arus kas yang masuk dan keluar merupakan biaya yang didapatkan dari penghematan listrik tahunan akibat pemasangan PLTS, biaya operasi dan perawatan (O&M) PLTS, dan biaya tagihan hutang jika ada. Biaya penghematan listrik tahunan dapat diketahui melalui besarnya energi yang dihasilkan PLTS per tahunnya dan harga listrik per kWh yang ditentukan PLN. PT. Indonesia Kendaraan Terminal termasuk kedalam golongan industry besar-menengah, maka tarif listrik yang dikenakan pada perusahaan sebesar Rp. 1.225,00/kWh.

$$\begin{aligned}\text{Penghematan Listrik} &= 89.837,81 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1.225,00 \\ &= \text{Rp } 110.051.317,00\end{aligned}$$

Besarnya O&M setelah disesuaikan oleh kebutuhan penelitian maka didapatkan,

$$\begin{aligned}\text{O\&M} &= \text{Rp } 58.536,00 /\text{kWp} \\ &= \text{Rp } 46.803.054,00 /\text{tahun}\end{aligned}$$

Biaya tagihan hutang akan dikenakan pada arus kas tahunan jika investasi yang dilakukan tidak sepenuhnya dilakukan dari modal sendiri. Penentuan besarnya tagihan hutang pertahunnya dapat diketahui dengan menggunakan konsep faktor pemulihan modal deret seragam atau *Uniform Series Capital Recovery Factor (USCRF)*. Konsep ini memiliki rumus bunga:

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

Dimana,

A = Angsuran pertahun/bulan yang harus dibayar

P = Nilai sekarang atau *present worth*, dalam hal ini besar investasi diawal.

i = Besar suku bunga

N = Lamanya umur investasi

Besarnya nilai angsuran hutang pertahunnya (A) akan bergantung pada besar investasi awal yang dikeluarkan, atau bergantung pada berapa besar dari nilai investasi yang dibayar dengan menggunakan pinjaman bank. Dengan menggunakan data dari Bank Indonesia diketahui besar suku bunga adalah 4.5%.

$$i = 4.5\%$$

Setelah semua biaya komponen dan biaya kas tahunan telah diketahui, maka data-data ini dapat dimasukkan kepada RETScreen sebagai data simulasi.

Biaya awal (kredit)	Unit	Jumlah	Harga unit	Jumlah
Biaya awal				\$ -
▼ Tunjukkan data				
- PV	biaya	1	\$ 38,386	\$ 38,386
- Inverter & Battery	biaya	1	\$ 55,847	\$ 55,847
- SCC	biaya	1	\$ 12,047	\$ 12,047
+				
<b>Total biaya awal</b>				<b>\$ 106,280</b>
Biaya tahunan (kredit)	Unit	Jumlah	Harga unit	Jumlah
Biaya O&M (penghematan)	proyek			\$ 3,312
▼ Tunjukkan data				
- Ditetapkan pengguna	biaya		\$	-
+				
<b>Total biaya tahunan</b>				<b>\$ 3,312</b>

**Gambar 4.11** Analisa Biaya

### 4.3.3 Alternatif – Alternatif Investasi

Alternatif-alternatif investasi yang diberikan untuk melihat skema investasi mana yang paling baik yaitu, investasi bila dilakukan 100% dari modal sendiri tanpa pinjaman bank, investasi dengan 50% modal pinjaman bank, dan investasi dengan 70% modal pinjaman investasi. Dengan rencana jangka investasi selama 25 Tahun.

#### 4.3.3.1 Tanpa Pinjaman Bank

Jika investasi tidak menggunakan bank, maka semua nilai pengeluaran awal akan menjadi nilai *present worth*.

$$P \text{ (present worth)}(C_0) = \text{Rp } 1.499.860.173,61$$

$$N \text{ (jangka investasi)} = 25 \text{ tahun}$$

$$i \text{ (suku bunga)} = 4.5\%$$

Suku bunga dianggap 0%, karena investasi dilakukan tanpa melakukan pinjaman bank, sehingga bunga hutang tidak di kenakan. Maka angsuran hutangnya juga tidak ada.

$$C_t = \text{Penghematan listrik} - \text{O\&M} - \text{tagihan utang}$$

$$C_t = \text{Rp } 110.051.317,00 - \text{Rp } 46.803.054,00 / \text{tahun} - 0$$

$$C_t = \text{Rp } 63.248.263,00$$

Untuk mencari apakah alternatif investasi ini layak untuk dilaksanakan maka dihitung *Net Present Value* nya (NPV), dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{NPV} &= \sum_{t=1}^N \frac{C_t}{(1+i)^t} - C_0 \\
 &= \left( \left( \frac{63.248.263}{(1+0)^1} \right) + \left( \frac{63.248.263}{(1+0)^2} \right) + \left( \frac{63.248.263}{(1+0)^3} \right) + \right. \\
 &\quad \left. \dots + \left( \frac{63.248.263}{(1+0)^{25}} \right) \right) - \text{Rp } 1.499.860.173,00 \\
 &= \text{Rp } 1.581.206.580,00 - \text{Rp } 1.499.860.173,00 \\
 &= \text{Rp } 81.346.406,00
 \end{aligned}$$

Nilai NPV yang positif menandakan investasi yang direncanakan sudah bisa menghasilkan keuntungan. Jadi alternatif investasi ini layak untuk dilaksanakan. Jika dilihat arus kas tahunannya (lampiran), dapat dilihat investasi mendapatkan pengembalian modal pada awal tahun ke 23 sejak investasi berjalan.

Menghitung *Internal Rate of Return* (IRR),

$$\begin{aligned}
 \text{NPW} &= \text{PW}_R - \text{PW}_E \\
 0 &= \text{Rp}1.581.206.580,00 (P/F, i\%, t) - \\
 &\quad \text{Rp}1.499.860.173,00 \\
 (P/F, i\%, 25) &= \frac{\text{Rp}1.499.860.173,00}{\text{Rp}1.581.206.580,00} \\
 &= 0,9486
 \end{aligned}$$

Mencari nilai  $i$  dengan cara mencari nilai terdekat pada table pamajemukan diskrit dengan  $P/F$  dan  $t$  diketahui, maka mencari pendekatan dari  $i$  0% - 5%

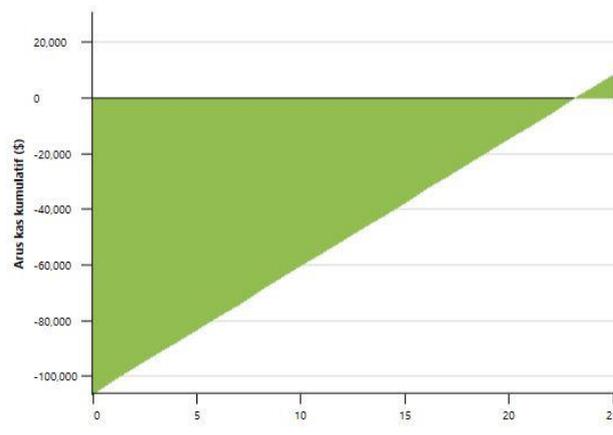
$$\begin{aligned}
 i (0\%) &= 0 \\
 i (0,5\%) &= 0,8828 \\
 \frac{0,5-i}{0,5-0} &= \frac{0,8828-0,9486}{0,8828-0} \\
 i &= 0,5372
 \end{aligned}$$

Nilai  $i$  atau IRR yang positif menunjukkan bahwa investasi yang dilakukan pada masa mendatang akan mendatangkan keuntungan sehingga investasi ini dianggap layak untuk dikerjakan.

Setelah hasil dari perhitungan manual didapatkan, dilakukan perhitungan simulasi RETScreen dengan data yang sama.

Biaya   Simpanan   Pendapatan			
<b>Biaya awal</b>			
PV	36.1%	\$	38,386
Inverter & Battery	52.5%	\$	55,847
SCC	11.3%	\$	12,047
<b>Total biaya awal</b>	<b>100%</b>	<b>\$</b>	<b>106,280</b>
<b>Arus kas tahunan - Tahun 1</b>			
<b>Biaya dan pembayaran hutang tahunan</b>			
Biaya O&M (penghematan)		\$	3,312
Pembayaran hutang		\$	0
<b>Total biaya tahunan</b>		<b>\$</b>	<b>3,312</b>
<b>Penghematan dan pendapatan tahunan</b>			
Pendapatan ekspor listrik		\$	7,889
Pendapatan dari pengurangan GRK		\$	0
Pendapatan (biaya) lain-lain		\$	0
Pendapatan produksi Energi Bersih		\$	0
<b>Total pendapatan dan penghematan tahunan</b>		<b>\$</b>	<b>7,889</b>
<b>Arus kas tahunan bersih - Tahun 1</b>		<b>\$</b>	<b>4,576</b>

**Gambar 4.12** Biaya Simpan Pendapatan RETScreen



**Gambar 4.13** Grafik Arus Kas Tahunan

Arus kas tahunan		
Tahun	Sebelum pajak	Kumulatif
#	\$	\$
0	-106,280	-106,280
1	4,576	-101,704
2	4,576	-97,127
3	4,576	-92,551
4	4,576	-87,974
5	4,576	-83,398
6	4,576	-78,821
7	4,576	-74,245
8	4,576	-69,668
9	4,576	-65,092
10	4,576	-60,516
11	4,576	-55,939
12	4,576	-51,363
13	4,576	-46,786
14	4,576	-42,210
15	4,576	-37,633
16	4,576	-33,057
17	4,576	-28,481
18	4,576	-23,904
19	4,576	-19,328
20	4,576	-14,751
21	4,576	-10,175
22	4,576	-5,598
23	4,576	-1,022
24	4,576	3,555
25	4,576	8,131

**Gambar 4.14** Arus Kas Tahunan

Didapatkan dari hasil simulasi besarnya NPV dengan umur investasi 25 tahun adalah Rp 114.564.915,00. Terjadi perbedaan antara perhitungan manual dan perhitungan dengan simulasi dikarenakan terjadinya perbedaan terhadap kurs rupiah, dan pada simulasi perhitungan daya yang dihasilkan PV memperhitungkan juga faktor kapasitasnya sehingga terjadi perbedaan pada besarnya biaya penghematan listrik. Perbedaan dapat terjadi juga karena faktor pembulatan nilai, pada simulasi lebih akurat jika dilihat dari pembulatannya. Pada simulasi RETScreen juga memperhitungkan analisa dari faktor emisi. Jika dilihat pada gambar 4.15 dapat dilihat bahwa investasi akan mengalami

pengembalian modal pada awal tahun ke 23 juga. Melalui simulasi juga dapat dilihat bahwa *rate of return* (IRR) bernilai 0,58% (positif), tidak terlalu jauh berbeda dengan hasil yang didapatkan melalui perhitungan manual yaitu 0,5372%. Hal ini menunjukkan investasi ini layak untuk dikerjakan.

Kelayakan keuangan		
IRR sebelum pajak - ekuitas	%	0.58%
MIRR sebelum pajak - ekuitas	%	0.3%
IRR sebelum pajak - aset	%	0.58%
MIRR sebelum pajak - aset	%	0.3%
Pengembalian sederhana	thn	23.2
Balik modal ekuitas	thn	23.2
Nilai Bersih Sekarang (NPV)	\$	8,131
Penghematan siklus hidup tahunan	\$/thn	325
Rasio manfaat-biaya (B-C)		1.1
Kemampuan pengembalian hutang		Tanpa hutang
Biaya pengurangan GHG	\$/tCO <sub>2</sub>	-4.63
Biaya produksi energi	\$/kWh	0.083

**Gambar 4.15** Kelayaka Keuangan

#### 4.3.3.2 Dengan Pinjaman Bank 50% Dari Investasi

Jika investasi direncanakan dengan menggunakan pinjaman bank untuk sebagian jumlah modal maka perhitungannya akan berbeda, karena dalam aliran arus kasnya akan terjadi 2 fase. Fase saat masih ditanggung tagihan hutang dan fase dimana sudah tidak ada lagi tagihan hutang, maka perhitungannya dapat menjadi:

$$P \text{ (present worth)}(C_0) = \text{Rp } 1.499.860.173,00$$

$$N \text{ (jangka investasi)} = 25 \text{ tahun}$$

$$i \text{ (suku bunga)} = 4.5\%$$

Melakukan pinjaman bank sebanyak 50% dari modal keseluruhan.

$$C_{01} \text{ (Pinjaman Bank)} = 50\% \times \text{Rp } 1.499.860.173,00$$

$$\begin{aligned}
&= \text{Rp } 749.930.086,00 \\
C_{o2} \text{ (Uang muka)} &= 50\% \times \text{Rp } 1.499.860.173,00 \\
&= \text{Rp } 749.930.086,00
\end{aligned}$$

Selanjutnya dihitung berapa besar tagihan utang yang harus dibayar pertahunnya.

$$\begin{aligned}
A &= C_{o1} \left[ \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \right] \\
A &= \text{Rp } 749.930.086,00 \left[ \frac{0.045(1+0.045)^{15}}{(1+0.045)^{15} - 1} \right] \\
&= \text{Rp } 749.930.086,00 \times (0.093113808) \\
&= \text{Rp } 69.828.846,00
\end{aligned}$$

Dengan adanya pinjaman dari bank, maka arus kas masuk pertahunnya memiliki 2 masa, yaitu aliran kas pada masa pembayaran utang, dan aliran kas setelah masa pembayaran utang lunas. Hal ini juga menyebabkan cara penghitungan NPV nya juga berbeda.

$$\begin{aligned}
C_{t1} \text{ (pada masa utang)} &= \text{Penghematan listrik} - \text{O\&M} - \text{tagihan utang} \\
&= \text{Rp } 110.051.317,00 - \text{Rp } 46.803.054,00 \\
&\quad / \text{tahun} - \text{Rp } 69.828.846,00 \\
&= - \text{Rp } 6.580.583,00
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{t2} \text{ (setelah masa utang)} &= \text{Penghematan listrik} - \text{O\&M} - \text{tagihan utang} \\
&= \text{Rp } 110.051.317,00 - \text{Rp } 46.803.054,00 \\
&\quad / \text{tahun} - 0 \\
&= \text{Rp } 63.248.263,00
\end{aligned}$$

$$\text{NPV} = \text{NPV}_1 - \text{NPV}_2 - C_{o2} \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned}
\text{NPV} &= \left( \sum_{t=1}^N \frac{C_{t1}}{(1+i)^t} \right) + \left( \sum_{t=1}^N \frac{C_{t2}}{(1+i)^t} \right) - C_{o2} \\
&= \left( \frac{-6.580.583}{(1+0.045)^1} \right) + \left( \frac{-6.580.583}{(1+0.045)^2} \right) + \left( \frac{-6.580.583}{(1+0.045)^3} \right) + \dots + \\
&\quad \left( \frac{-6.580.583}{(1+0.045)^{15}} \right) + \left( \frac{63.248.263}{(1+0)^1} \right) + \left( \frac{63.248.263}{(1+0)^2} \right) + \\
&\quad \left( \frac{63.248.263}{(1+0)^3} \right) + \dots + \left( \frac{63.248.263}{(1+0)^{10}} \right) - \text{Rp } 749.930.086,00 \\
&= -\text{Rp } 70.672.472,00 + \text{Rp } 632.482.632,00 - \text{Rp } 749.930.086,00 \\
&= -\text{Rp } 188.119.926,00
\end{aligned}$$

Jika dilihat dari perhitungan NPV pertama memiliki t dari 1 hingga 15 karena lamanya pembayaran hutang adalah 15 tahun, dan besar i adalah 4,5% karena hutang dikenai bunga hutang. Pada NPV kedua memiliki t dari 1 hingga 10 karena masa tanpa tagihan hutang selama 10 tahun, dan i bernilai 0 karena tidak dikenai lagi bunga hutang. Jika dilihat dari nilai NPV yang bernilai negatif, maka tidak terjadi pengembalian modal selama jangka investasi, dan dinyatakan alternatif investasi ini tidak dianjurkan untuk dijalankan.

Untuk mencari berapa besar IRR pada kondisi dimana aliran kas tidak seragam selama periode investasi, maka perhitungan IRR harus dihitung dari semua aliran kas masuk dan semua aliran kas keluar. Dari data aliran kas yang didapat di perhitungan sebelumnya, maka akan didapatkan persamaan *Net Present Worth* (NPW) sebagai berikut,

$$NPW = A_1(P/A, i\%, 15) + A_2(A/P, i\%, 25) + A_3(A/P, i\%, 25) + F(P/F, i\%, 25) - C_{o2}$$

Dimana,

$A_1$  = Tagihan Hutang

$A_2$  = O&M

$A_3$  = Penghematan Listrik

F = Nilai  $NPV_1 - NPV_2$  dari persamaan 4.1

$NPW = 0$

$$0 = -Rp\ 69.828.846,00 (P/A, i\%, 15) - Rp\ 46.803.054,00 (P/A, i\%, 25) + Rp\ 110.051.317,00 (P/A, i\%, 25) + Rp\ 561.810.159,00 (P/F, i\%, 25) - Rp\ 749.930.086,00$$

Untuk mencari nilai i pada kasus ini akan banyak interpolasi yang harus dilakukan untuk mendapatkan nilai i yang mendekati, karena terdapat dua faktor, yaitu P/A dan P/F. Untuk mempermudah dapat dilakukan pendekatan dengan menganggap aliran kas terjadi tanpa bunga, sehingga dua faktor berbeda tersebut dapat dikonversi menjadi satu. Seperti mengkonversi P/A dan P/F menjadi P/F saja [12]. Sehingga menjadi,

$$Rp\ 749.930.086,00 = ((-Rp\ 69.828.846,00 \times 15) + (- Rp\ 46.803.054,00 \times 25) + (Rp\ 110.051.317,00 \times 25) + Rp\ 561.810.159,00) (P/F, i\%, 25)$$

$$Rp\ 749.930.086,00 = Rp\ 1.095.584.046,00 (P/F, i\%, 25)$$

$$(P/F, i\%, 25) = \frac{\text{Rp } 749.930.086,00}{\text{Rp } 1.095.584.046,00}$$

$$(P/F, i\%, 25) = 0,6845$$

Selanjutnya dapat dilakukan pencarian nilai  $i$  dengan cara mencari nilai terdekat pada table pamajemukan diskrit dengan  $P/F = 0,6845$  dan  $t = 25$ . Didapatkan hasil yang mendekati yaitu 1,5% dan 2%. Lalu dilakukan interpolasi untuk mencari nilai pastinya.

$$(P/F, 1,5\%, 25) = 0,6892$$

$$(P/F, i\%, 25) = 0,6845$$

$$(P/F, 2\%, 25) = 0,6095$$

$$\frac{2\% - i}{2\% - 1,5\%} = \frac{0,6095 - 0,6845}{0,6095 - 0,6892}$$

$$2\% - i = 0,5\% (0,1088)$$

$$i = 2\% - (0,0544)$$

$$= 1,9455\%$$

Perlu diingat bahwa nilai aliran kas keluar lebih besar dari aliran kas masuk jadi nilai IRR yang didapat adalah  $-1,9455\%$ . Hal ini menunjukkan bahwa investasi yang dilakukan tidak mendatangkan untung, dan tidak layak untuk dijalankan.

Setelah hasil dari perhitungan manual didapatkan, dilakukan perhitungan simulasi RETScreen dengan data yang sama.

Biaya   Simpanan   Pendapatan			
<b>Biaya awal</b>			
PV	36.1%	\$	38,386
Inverter & Battery	52.5%	\$	55,847
SCC	11.3%	\$	12,047
<b>Total biaya awal</b>	<b>100%</b>	<b>\$</b>	<b>106,280</b>
<b>Arus kas tahunan - Tahun 1</b>			
<b>Biaya dan pembayaran hutang tahunan</b>			
Biaya O&M (penghematan)		\$	3,312
Pembayaran hutang - 15 thn		\$	4,948
<b>Total biaya tahunan</b>		<b>\$</b>	<b>8,260</b>
<b>Penghematan dan pendapatan tahunan</b>			
Pendapatan ekspor listrik		\$	7,889
Pendapatan dari pengurangan GRK		\$	0
Pendapatan (biaya) lain-lain		\$	0
Pendapatan produksi Energi Bersih		\$	0
<b>Total pendapatan dan penghematan tahunan</b>		<b>\$</b>	<b>7,889</b>
<b>Arus kas tahunan bersih - Tahun 1</b>		<b>\$</b>	<b>-372</b>

**Gambar 4.16** Pendapatan Pertahun Hutang 50%

Keuangan			
Insentif dan hibah	\$		
Rasio hutang	%		50%
Hutang	\$		53,140
Ekuitas	\$		53,140
Tingkat bunga hutang	%		4,5%
Persyaratan hutang	thn		15
Pembayaran hutang	\$/thn		4,948

**Gambar 4.17** Hutang dan Bunga Hutang Pinjaman 50%

Arus kas tahunan		
Tahun	Sebelum pajak	Kumulatif
#	\$	\$
0	-53,140	-53,140
1	-372	-53,512
2	-372	-53,883
3	-372	-54,255
4	-372	-54,626
5	-372	-54,998
6	-372	-55,370
7	-372	-55,741
8	-372	-56,113
9	-372	-56,484
10	-372	-56,856
11	-372	-57,228
12	-372	-57,599
13	-372	-57,971
14	-372	-58,342
15	-372	-58,714
16	4,576	-54,138
17	4,576	-49,561
18	4,576	-44,985
19	4,576	-40,408
20	4,576	-35,832
21	4,576	-31,255
22	4,576	-26,679
23	4,576	-22,102
24	4,576	-17,526
25	4,576	-12,949

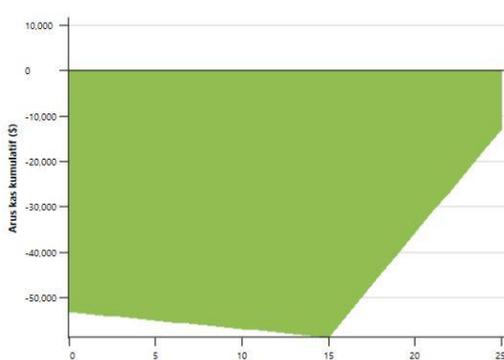
**Gambar 4.18** Arus Kas Tahunan Saat Hutang 50%

Dari simulasi didapatkan besar nilai *Net Present Value* (NPV) yaitu -Rp 182.442.330.00, hampir sama dengan yang didapatkan melalui

perhitungan manual yaitu -Rp 188.119.926.00. NPV dikedua perhitungan menunjukkan hasil yang negatif membuktikan bahwa alternatif ini tidak layak, dan disarankan untuk tidak dilakukan. Melalui simulasi juga dapat dilihat bahwa *rate of return* (IRR) yang didapat bernilai negatif, yaitu -1,3%, yang memperkuat argument diatas. Nilai yang didapat melalui simulasi tidak jauh berbeda dari hasil yang di dapatkan melalui perhitungan manual, yaitu - 1,9455 %.

Kelayakan keuangan		
IRR sebelum pajak - ekuitas	%	-1.3%
MIRR sebelum pajak - ekuitas	%	-0.99%
IRR sebelum pajak - aset	%	-4.3%
MIRR sebelum pajak - aset	%	-3.5%
Pengembalian sederhana	thn	23.2
Balik modal ekuitas	thn	> proyek
Nilai Bersih Sekarang (NPV)	\$	-12,949
Penghematan siklus hidup tahunan	\$/thn	-518
Rasio manfaat-biaya (B-C)		0.76
Kemampuan pengembalian hutang		0.92
Biaya pengurangan GHG	\$/tCO <sub>2</sub>	7.57
Biaya produksi energi	\$/kWh	0.093

**Gambar 4.19** Kelayakan Keuangan Hutang 50%



**Gambar 4.20** Arus Kas Tahunan Hutang 50%

Pada grafik gambar 4.20 terlihat bahwa arus kas tahunan menurun pada 15 tahun pertama karena adanya tunggakan hutang yang harus dibayar dan kembali naik setelah tahun ke 15, karena arus kas positif dari hasil penghematan listrik tahunan.

#### 4.3.3.3 Dengan Pinjaman Bank 70% Dari Investasi

Umumnya jika investasi direncanakan dilakukan dengan memanfaatkan pinjaman dari bank, besar pinjaman yang diambil sebesar 70% dari nilai total investasi. Proses perhitungan yang dilakukan sama seperti proses perhitungan pada pinjaman bank 50%, perhitungan akan dilakukan pada dua fase. Fase pembayaran utang, dan fase setelah utang lunas.

$$\begin{aligned}
 P \text{ (present worth)}(C_0) &= \text{Rp } 1.499.860.173,00 \\
 N \text{ (jangka investasi)} &= 25 \text{ tahun} \\
 i \text{ (suku bunga)} &= 4,5\%
 \end{aligned}$$

Melakukan pinjaman bank sebanyak 70% dari modal keseluruhan.

$$\begin{aligned}
 C_{01} \text{ (Pinjaman Bank)} &= 70\% \times \text{Rp } 1.499.860.173,00 \\
 &= \text{Rp } 1.049.902.121,00 \\
 C_{02} \text{ (Uang muka)} &= 30\% \times \text{Rp } 1.499.860.173,00 \\
 &= \text{Rp } 449.958.052,00
 \end{aligned}$$

Besar tagihan utang yang harus dibayar pertahunnya.

$$\begin{aligned}
 A &= C_{01} \left[ \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \right] \\
 A &= \text{Rp } 1.049.902.121,00 \left[ \frac{0.045(1+0.045)^{15}}{(1+0.045)^{15} - 1} \right] \\
 &= \text{Rp } 1.049.902.121,00 \times (0.093113808) \\
 &= \text{Rp } 97.760.384,00
 \end{aligned}$$

Aliran kas pada dua fase dapat dihitung.

$$\begin{aligned}
 C_{11} \text{ (pada masa utang)} &= \text{Penghematan listrik} - \text{O\&M} - \text{tagihan utang} \\
 &= \text{Rp } 110.051.317,00 - \text{Rp } 46.803.054,00 \\
 &\quad / \text{tahun} - \text{Rp } 97.760.384,00 \\
 &= - \text{Rp } 34.512.121,00 \\
 C_{12} \text{ (setelah masa utang)} &= \text{Penghematan listrik} - \text{O\&M} - \text{tagihan utang} \\
 &= \text{Rp } 110.051.317,00 - \text{Rp } 46.803.054,00 \\
 &\quad / \text{tahun} - 0 \\
 &= \text{Rp } 63.248.263,00
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
NPV &= NPV_1 - NPV_2 - C_0 \\
NPV &= \left( \sum_{t=1}^N \frac{C_{t1}}{(1+i)^t} \right) + \left( \sum_{t=1}^N \frac{C_{t2}}{(1+i)^t} \right) - C_{o2} \\
&= \left( \left( \frac{-34.512.121}{(1+0.045)^1} \right) + \left( \frac{-34.512.121}{(1+0.045)^2} \right) + \left( \frac{-34.512.121}{(1+0.045)^3} \right) + \dots + \right. \\
&\quad \left. \left( \frac{-34.512.121}{(1+0.045)^{15}} \right) \right) + \left( \left( \frac{63.248.263}{(1+0)^1} \right) + \left( \frac{63.248.263}{(1+0)^2} \right) + \right. \\
&\quad \left. \left( \frac{63.248.263}{(1+0)^3} \right) + \dots + \left( \frac{63.248.263}{(1+0)^{10}} \right) \right) - \text{Rp } 449.958.052,00 \\
&= -\text{Rp } 370.644.506,00 + \text{Rp } 500.465.681,00 - \text{Rp } 449.958.052,00 \\
&= -\text{Rp } 320.136.876,00
\end{aligned}$$

Nilai NPV yang bernilai negatif, maka tidak terjadi pengembalian modal selama jangka investasi, dan dinyatakan alternatif investasi ini tidak dianjurkan untuk dijalankan. Jika dibandingkan dengan nilai NPV dengan peminjaman dari bank sebesar 50%, NPV pada hutang 70% memiliki nilai yang lebih negatif. Hal ini karena semakin besar hutangnya maka semakin besar juga angsuran pembayaran hutang yang harus dibayarkan setiap tahunnya, dan pajak yang dikenakan pada pembayaran hutang juga bernilai lebih besar meskipun ratio pajaknya sama.

Setelah hasil dari perhitungan manual didapatkan, dilakukan perhitungan simulasi RETScreen dengan data yang sama.

Dari simulasi didapatkan besar nilai *Net Present Value* (NPV) yaitu -Rp 301.245.313,00 hampir sama dengan yang didapatkan melalui perhitungan manual yaitu -Rp 320.136.876,00. NPV dikedua perhitungan menunjukkan hasil yang negatif membuktikan bahwa alternatif ini tidak layak, dan disarankan untuk tidak dilakukan. Melalui simulasi juga dapat dilihat bahwa *rate of return* (IRR) yang didapat bernilai negatif yang memperkuat argument diatas.

Biaya   Simpanan   Pendapatan			
<b>Biaya awal</b>			
PV	36.1%	\$	38,386
Inverter & Battery	52.5%	\$	55,847
SCC	11.3%	\$	12,047
<b>Total biaya awal</b>	<b>100%</b>	<b>\$</b>	<b>106,280</b>
<b>Arus kas tahunan - Tahun 1</b>			
<b>Biaya dan pembayaran hutang tahunan</b>			
Biaya O&M (penghematan)		\$	3,312
Pembayaran hutang - 15 thn		\$	6,927
<b>Total biaya tahunan</b>		<b>\$</b>	<b>10,240</b>
<b>Penghematan dan pendapatan tahunan</b>			
Pendapatan ekspor listrik		\$	7,889
Pendapatan dari pengurangan GRK		\$	0
Pendapatan (biaya) lain-lain		\$	0
Pendapatan produksi Energi Bersih		\$	0
<b>Total pendapatan dan penghematan tahunan</b>		<b>\$</b>	<b>7,889</b>
<b>Arus kas tahunan bersih - Tahun 1</b>		<b>\$</b>	<b>-2,351</b>

**Gambar 4.21** Pendapatan Pertahun Hutang 70%

### Keuangan

Insentif dan hibah	\$	
Rasio hutang	%	70%
Hutang	\$	74,396
Ekuitas	\$	31,884
Tingkat bunga hutang	%	4.5%
Persyaratan hutang	thn	15
Pembayaran hutang	\$/thn	6,927

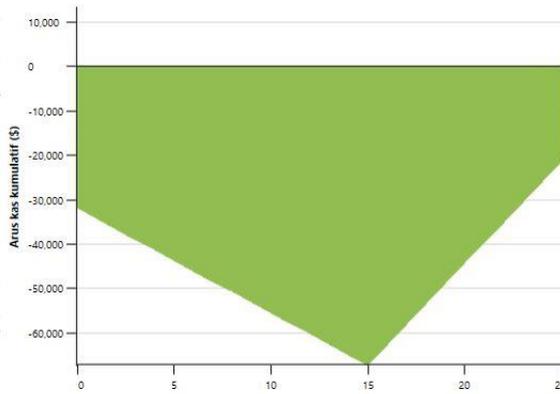
**Gambar 4.22** Hutang dan Bunga Hutang Pinjaman 70%

Kelayakan keuangan		
IRR sebelum pajak - ekuitas	%	-2.4%
MIRR sebelum pajak - ekuitas	%	-1.5%
IRR sebelum pajak - aset	%	-6%
MIRR sebelum pajak - aset	%	-4.4%
Pengembalian sederhana	thn	23.2
Balik modal ekuitas	thn	> proyek
Nilai Bersih Sekarang (NPV)	\$	-21,382
Penghematan siklus hidup tahunan	\$/thn	-855
Rasio manfaat-biaya (B-C)		0.33
Kemampuan pengembalian hutang		0.66
Biaya pengurangan GHG	\$/tCO <sub>2</sub>	12.50
Biaya produksi energi	\$/kWh	0.096

**Gambar 4.23** Kelayakan Keuangan Hutang 70%

Arus kas tahunan		
Tahun	Sebelum pajak	Kumulatif
#	\$	\$
0	-31,884	-31,884
1	-2,351	-34,235
2	-2,351	-36,586
3	-2,351	-38,936
4	-2,351	-41,287
5	-2,351	-43,638
6	-2,351	-45,989
7	-2,351	-48,340
8	-2,351	-50,691
9	-2,351	-53,041
10	-2,351	-55,392
11	-2,351	-57,743
12	-2,351	-60,094
13	-2,351	-62,445
14	-2,351	-64,796
15	-2,351	-67,146
16	4,576	-62,570
17	4,576	-57,994
18	4,576	-53,417
19	4,576	-48,841
20	4,576	-44,264
21	4,576	-39,688
22	4,576	-35,111
23	4,576	-30,535
24	4,576	-25,958
25	4,576	-21,382

**Gambar 4.24** Arus Kas Tahunan Hutang 70%



**Gambar 4.25** Grafik Arus Kas Tahunan Hutang 70%

Pada grafik gambar 4.20 terlihat bahwa arus kas tahunan menurun pada 15 tahun pertama karena adanya tunggakan utang yang harus dibayar dan kembali naik setelah tahun ke 15, karena arus kas positif dari hasil penghematan listrik tahunan.

## 4.4 Tinjauan Lingkungan

### 4.4.1 Instalasi Panel Surya

Pada instalasinya panel surya biasanya akan dipasang secara paralel dan seri, maka konfigurasi harus dilakukan untuk menentukan berapa banyak modul panel surya yang dipasang paralel dan berapa banyak modul yang dipasang seri. Persyaratan dalam melakukan konfigurasi panel surya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Paralel} &= I_{PV} < I_{INV} \\ \text{Seri} &= V_{PV} < V_{INV} \\ \text{Total Unit} &= \text{Paralel} \times \text{Seri} \end{aligned}$$

Dalam penelitian ini dibutuhkan sebanyak 4 inverter, dan jumlah unti panel surya yang digunakan sebanyak 195 pcs. Maka perhitungan konfigurasinya.

$$\begin{aligned} \text{Total Unit} &= 195 \\ \text{Paralel} &= 8,15 \text{ A} < 44 \text{ A} \times 4 \\ &= 8,15 \text{ A} < 176 \text{ A} \\ &= 15 \text{ pcs} \end{aligned}$$

Seri =  $50,3 \text{ v} < 950 \text{ v}$   
= 13 pcs

Dilakukan pengecekan apakah dengan jumlah paralel tersebut memenuhi syarat konfigurasi.

Paralel =  $15 \times 8,15 \text{ A} < 176 \text{ A}$   
=  $122,5 \text{ A} < 176 \text{ A}$

Seri =  $13 \times 50,3 \text{ v} < 950 \text{ v}$   
=  $653,9 \text{ v} < 950 \text{ v}$

Total Unit =  $15 \times 13$   
= 195 pcs

Instalasi panel surya akan dipasang pada atap Gedung perkantoran PT. Indonesia Kendaraan Terminal dengan kemiringan  $12^\circ$  dan sudut azimuth  $0^\circ$ .



**Gambar 4.26** Tangkapan Satelit PT. Indonesia Kendaraan Terminal

#### 4.4.2 Dampak Pada Gas Emisi

Jika dilihat dari simulasi RETScreen sebelum dilakukan pemasangan panel surya gas rumah kaca yang dihasilkan dari pemakaian listrik sebesar  $75,5 \text{ tCO}_2$ , dan setelah dilakukan pemasangan panel surya dengan keluaran daya  $89,84 \text{ MWh}$  gas rumah kaca yang dihasilkan sebesar  $7,1 \text{ tCO}_2$ . Pengurangan yang terjadi sebesar  $68,4 \text{ tCO}_2$ , atau setara dengan  $29.398,7$  liter bensin.

Sistem kelistrikan kasus acuan (baseline)	Jenis bahan bakar	GHG (Gelain T&D) tCO <sub>2</sub> /MWh	Susut T&D %	Faktor emisi GHG tCO <sub>2</sub> /MWh
Negara - daerah Indonesia	Semua tipe	0.755	9.4%	0.833
Listrik yang diekspor ke jaringan	MWh	90.7	Susut T&D	9.4%

**Emisi GHG**

Kasus acuan	tCO <sub>2</sub>	75.5
Kasus diusulkan	tCO <sub>2</sub>	7.1
<b>Pengurangan emisi GHG pertahun bruto</b>	tCO <sub>2</sub>	<b>68.4</b>



**Legenda**  
 Pengurangan emisi GHG pertahun bruto (91%)



68.4 tCO<sub>2</sub> sama dengan 29,398.7

Bensin tidak terpakai (Liter)

**Gambar 4.27** Hasil Analisa Emisi RETScreen

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan pada hasil perhitungan, simulasi, dan analisis pada tugas akhir ini, maka kesimpulan yang dapat diambil adalah:

1. Dibutuhkan sebanyak 195 panel surya dengan daya keluaran masing-masing sebesar 410 W, dan efisiensi masing-masing modul sebesar 16% untuk memenuhi kebutuhan daya yang direncanakan dalam rencana investasi. Dengan memperhitungkan semua *losses* sebesar 11,5%, energi yang dihasilkan pertahun sebesar 89.837,81 kW, dan menghasilkan penghematan pertahun sebesar Rp 110.051.317,00. Komponen lain yang dibutuhkan adalah 4 buah inverter, 9 buah SCC, dan 23 buah baterai. *Performance Ratio* yang dihasilkan sistem panel surya sebesar 90%, sehingga sistem dinyatakan layak dan memenuhi.
2. Dengan memperhitungkan harga masing-masing komponen, dan keperluan impor lainnya, maka diketahui besar nilai investasi awal yaitu Rp 1.499.860.173,00. Operasi dan perawatan (O&M) yang diperlukan pertahunnya sebesar Rp 46.803.054,00.
3. Dari semua alternatif investasi yang diberikan, alternatif investasi yang paling disarankan adalah alternatif investasi tanpa pinjaman bank, karena pada alternatif ini NPV bernilai positif sebesar Rp 81.346.406,00. Hal ini berarti alternatif investasi ini pada akhir periode investasinya dapat menghasilkan keuntungan sebesar Rp 81.346.406,00. Didukung dengan nilai IRR yang positif 0.58% menguatkan bahwa alternatif investasi ini layak dijalankan. Diketahui proyek akan mengalami balik modal pada awal tahun ke 23.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan pada hasil tugas akhir, beberapa hal yang harus diperhatikan untuk dijadikan bahan evaluasi untuk penelitian kedepannya. Supaya penelitian kedepannya bisa lebih mendalam dan

mendapatkan hasil yang lebih baik. Beberapa hal yang penting diperhatikan diantaranya:

1. Analisa energi dan komponen yang dilakukan tanpa memperhatikan kurva beban harian dari PT Indonesia Kendaraan Terminal karena adanya kekurangan data. Jika diketahui data beban harian, maka besar biaya pemakaian listrik karena panel surya akan semakin baik.
2. Analisa kelayakan ekonomi teknik yang dilakukan tanpa memperhatikan tingkat inflasi, pajak penghasilan, tarif diskonto, dan laju reinvestasi. Jika dilakukan analisis dengan mencantumkan semua hal diatas, maka hasil yang didapat akan lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zuhal. “Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya.”, Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama, 1995.
- [2] Badan Standardisasi Nasional, “Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000”. Badan Standardisasi Nasional, 2000.
- [3] REN21, “Renewables 2017: Global Status Report (GRS)”, 2017,<URL: <http://www.ren21.net>> *Accesed on Dec 1, 2020.*
- [4] Ariya Sangwowanich, Yongheng Yang, Dezso Sera, & Freede Blabjerg. “*Impacts of PV Array Sizing on PV Inverter Lifetime and Reliability*”, Department of Energy Aalborg University, Aalborg DK09220, Denmark, 2017.
- [5] Dekko, Nikolas Arta Kurnia. “Apikasi Solar Panel Roof Sebagai Alternatif Energi di *Reefer Container Yard* PT. Terminal Petikemas Surabaya”, Departeme Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2020.
- [6] Ninbog Longsun Solar Electric Co., LTD. “Monocrstal Solar Panel & Panel Surya Polikristalin”,Indonesia, Dec 1, 2020, <URL: <http://indonesian.monocrystalsolarpanel.com>> *Accesed on Dec 1, 2020.*
- [7] Teknik Elektronika, “Pengertian Sel Surya (*Solar Cell*) dan Prinsip Kerjanya”, Indonesia, Dec 1, 2020, <URL: <https://teknikelektronika.com/pengertian-sel-surya-solar-cell-prinsip-kerja-sel-surya/>>, *Accesed on Dec 1, 2020*
- [8] Arangarajan Vinayagam, K. S. V. Swarna, Sui Yang Khoo, Aman Than Oo, & Alex Stojcevski. “*PV Based Microgrid with Grid-Support Grid-Forming Inverter Control (Simulation and Analysis)*”, Faculty of Science, Engineering and Build Environment, Deakin University, Geelong, Australia, 2016.
- [9] Magnet, “*Grid Tied Solar System*”, Indonesia, Dec 1, 2020, <URL: <https://www.magnetgroup.co.za/solutions-solar/grid-tied-solar-solution.html>>, *Accesed on Dec 1, 2020.*
- [10] Isinki, Mathy Mpassy. “*Standalone PV System*”, Indonesia Dec 1, 2020, <URL: <https://guides.co/g/how-to-size-off-grid-solar-power-systems-in-7-steps/57106>>, *Accesed on Dec 1, 2020.*
- [11] Wikipedia: The Free Encyclopedia, “*Solar Hybrid Power System.*” Indonesia, Dec 1, 2020, <URL:

- [https://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_hybrid\\_power\\_systems](https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_hybrid_power_systems)>, *Accessed on Dec 1, 2020.*
- [12] Pujawan, I Nyoman. “Ekonomi Teknik”, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Lautan Pustaka, 2019.
  - [13] Rinna Hariyati, Muchamad Nur Qosim, Aas Wasri Hassanah. “Konsep Fotovoltaik Terintegrasi On-Grid dengan Gedung STT-PLN”, Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknik PLN, Jakarta, 2019.
  - [14] Pradeep Yemula, “Transmission Expansion Planning Considering Contingency Criteria and Network Utilization”, Fiftenth National Power System Conference, IIT Bombay, December 2008
  - [15] M. Faishol Adityo, “Analisis Kestabilan Transien Pada Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Kalimantan Timur Akibat Pengaktifan Kembali Pembangkit 11 MW,” Inst. Teknol. Sepuluh Nop., 2012

## LAMPIRAN

Diagram Aliran Kas Tahunan Investasi Tanpa Pinjaman Bank

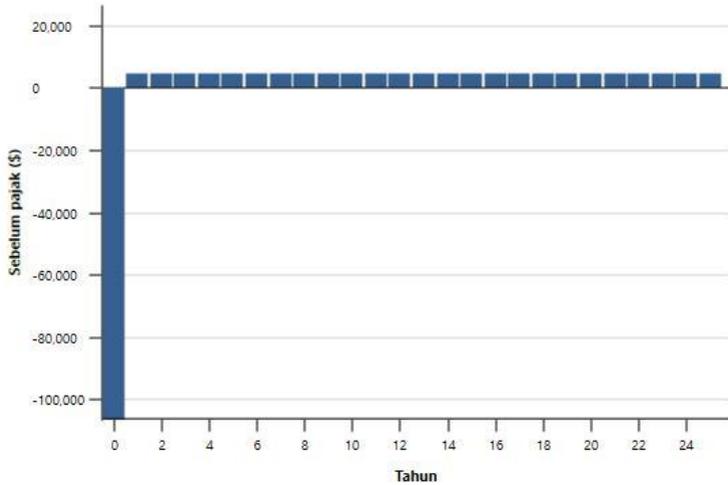
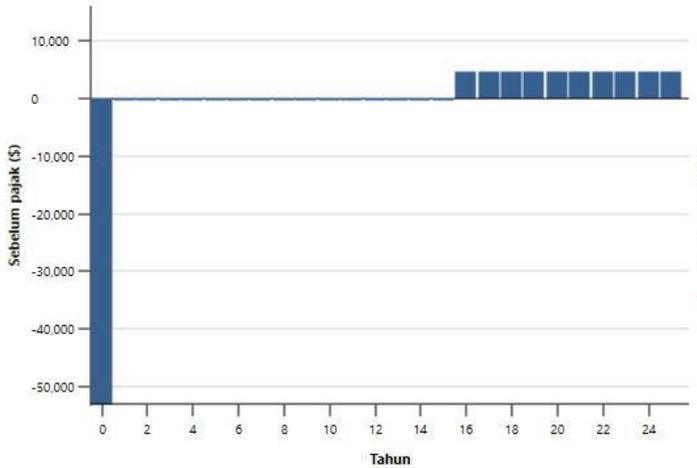
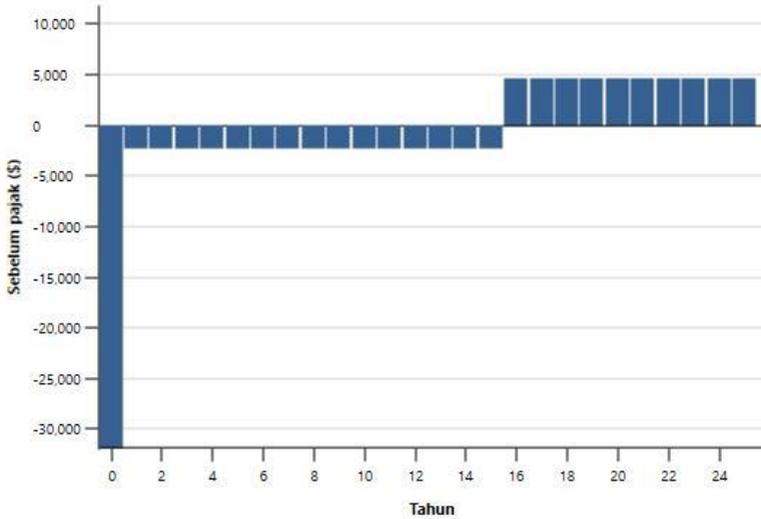


Diagram Aliran Kas Tahunan Investasi Dengan Pinjaman Bank 50%



## Diagram Aliran Kas Tahunan Investasi Dengan Pinjaman Bank 70%



## Datasheet Baterai

**BLUESUN Solarhome**  
YOUR BEST PV SUPPLIER

- Power source for portable devices or tools
- Telecommunication equipment
- Signal system, emergency lighting system, security system
- EPS and UPS battery backup
- Solar and wind energy storage system

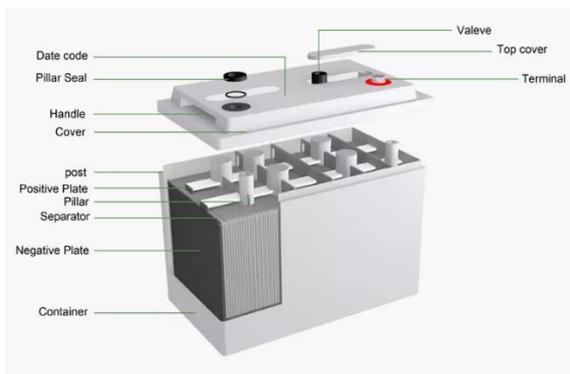
**12V** AMG/GEL

**2V** AMG/GEL

**BLUESUN**  
6-QFM-200  
6V 200AH  
AGM/VALVE REGULATED  
GEL

**BLUESUN**  
6V 200AH  
AGM/VALVE REGULATED  
GEL

Model	Voltage (V)	Capacity (AH)	Weight (KG)	Dimension(MM)				Terminal
				Length	Width	Height	Total Height	
FCD-65	12	65	21.0	351	167	176	176	MS
FCD-100	12	100	30.5	307	169	211	215	MS
FCD-150	12	150	46.0	484	171	241	241	MS
FCD-180	12	180	56.6	532	206	216	221	MS
FCD-200	12	200	59.6	532	206	216	221	MS
FCD-220	12	220	64.8	522	240	219	225	MS
FCD-250	12	250	77.8	521	269	220	224	MS



### Tangkapan Satelit PT. Indonesia Kendaraan Terminal



---Halaman ini sengaja dikosongkan---

## BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Pius Aditya Kurnia Ray, lahir di kota Jakarta, 24 April 1995. Penulis merupakan anak pertama dari ketiga saudara. Penulis sudah menyelesaikan jenjang pendidikan formal di SD Santa Ursula BSD (2001-2007), SMP Santa Ursula BSD (2007-2010), SMA Negeri 2 Kota Tangerang Selatan (2010-2013). Penulis Melanjutkan jenjang pendidikan tinggi di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, dengan NRP 07111340000122. Pada Departemen Teknik Elektro penulis mengambil bidang studi teknik sistem tenaga. Penulis telah menjalani kerja praktik pada PLN Distribusi Pusat Kota Surabaya. Selama masa perkuliahannya penulis banyak mengikuti kegiatan organisasi mahasiswa. Pada tahun kedua perkuliahan penulis menjadi wakil koordinator bidang beladiri di Lembaga Minat Bakat (LMB) ITS jabatan 2014-2015, menjadi kepala departemen bina dan latihan Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Tae Kwon Do ITS jabatan 2014-2015. Pada tahun ketiga perkuliahan penulis menjadi koordinator bidang media dan informasi di Keluarga Mahasiswa Katolik (KMK) ITS, jabatan 2015-2016, dan wakil ketua UKM Tae Kwon Do ITS jabatan 2015-2016. Pada tahun keempat perkuliahan, penulis menjadi dewan penasehat UKM Tae Kwon Do ITS jabatan 2016-2017.

**Pius Aditya Kurnia Ray**  
07111340000122  
piusaditya24@gmail.com

---Halaman ini sengaja dikosongkan---