

**ANALISIS *TECHNOCONOMY* PERENCANAAN  
PLTS *ROOFTOP* DENGAN SISTEM *HYBRID*  
PADA PT GEOMED INDONESIA**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT  
MEMPEROLEH GELAR S1 PADA PRODI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS  
TEKNOLOGI INDUSTRI UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
SEMARANG



**DISUSUN OLEH :**

**MUHAMMAD HISBUL FAROH  
NIM 30601900054**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
SEMARANG  
2024**

**FINAL PROJECT**

**TECHNOECONOMY ANALYSIS OF ROOFTOP SOLAR  
POWER PLANT WITH HYBRID SYSTEM AT  
PT GEOMED INDONESIA**

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1) at  
Departement of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology,  
Sultan Agung Islamic University  
Semarang*



**Arranged By :**

**MUHAMMAD HISBUL FAROH  
NIM 30601900054**

**MAJORING OF ELECTRICAL ENGINEERING  
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY  
SULTAN AGUNG ISLAMIC UNIVERSITY  
SEMARANG  
2024**

## LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul "ANALISIS *TECHNOECONOMY* PERENCANAAN PLTS *ROOFTOP* DENGAN SISTEM *HYBRID* PADA PT GEOMED INDONESIA" ini disusun oleh:

Nama : Muhammad Hisbul Faroh  
NIM : 30601900054  
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Selasa  
Tanggal : 30 Juli 2024

Pembimbing I

Dr. Ir. H. Sukarno Budi Utomo, MT.  
NIDN. 0619076401

Pembimbing II

Dr. Gunawan, ST., MT.  
NIDN. 067117101

**UNISSULA**

جامعة سلطان ابي سفيان الإسلامية

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro



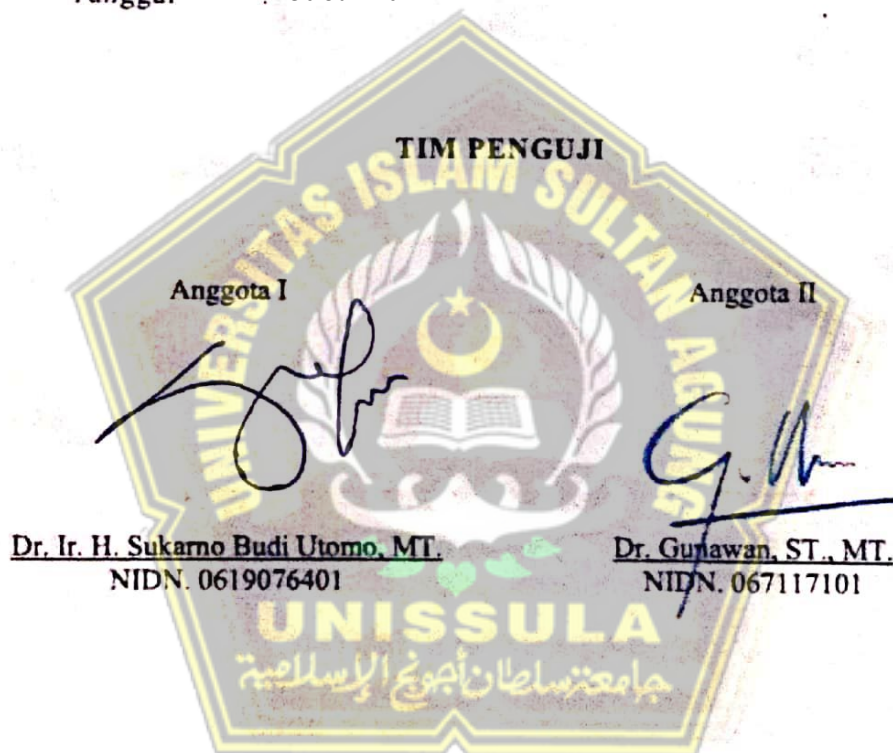
Jenny Putri Hapsari, ST., MT.  
NIDN. 0607018501

## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

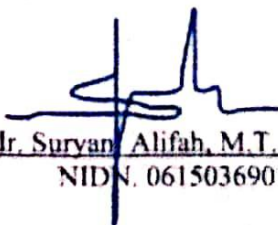
Laporan Tugas Akhir dengan judul "ANALISIS *TECHNOCONOMY* PERENCANAAN PLTS *ROOFTOP* DENGAN SISTEM *HYBRID* PADA PT GEOMED INDONESIA" ini telah dipertahankan di depan dosen penguji Tugas Akhir pada:

Hari : Selasa

Tanggal : 30 Juli 2024



Ketua Penguji

  
Ir. Suryani Alifah, M.T., Ph.D.  
NIDN. 0615036901

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Hisbul Faroh

NIM : 30601900054

Judul Tugas Akhir : **ANALISIS *TECHNOCONOMY* PERENCANAAN  
PLTS ROOFTOP DENGAN SISTEM *HYBRID* PADA  
PT GEOMED INDONESIA**

Dengan ini saya menyatakan bahwa judul dan isi Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro tersebut adalah asli dan belum pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan oleh siapapun baik keseluruhan maupun sebagian, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka, dan apabila dikemudian hari ternyata terbukti bahwa judul Tugas Akhir tersebut pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, Juli 2024

Yang Menyatakan,



Muhammad Hisbul Faroh  
NIM.30601900054

## PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Hisbul Faroh  
NIM : 30601900054  
Program Studi : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas akhir dengan Judul :  
**ANALISIS *TECHNOCONOMY* PERENCANAAN PLTS ROOFTOP  
DENGAN SISTEM *HYBRID* PADA PT GEOMED INDONESIA**

Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dan pangkalan data dan dipublikasikan di internet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan agung.

Semarang, Juli 2024

Yang Menyatakan,



Muhammad Hisbul Faroh  
NIM.30601900054

## PERSEMBAHAN

Pertama,

Tugas Akhir ini akan saya persembahkan kepada kedua orang tua yang saya cintai Alm. Bapak M. Ahmadi dan Ibu Sholikah yang sudah membesarkan, mendoakan, serta selalu mendukung dalam menyelesaikan studi saya hingga saat ini. Juga saudara saya yang selalu menyemangati dan selalu memberikan fasilitas yang saya butuhkan, merupakan penunjang untuk dapat menyelesaikan perkuliahan.

Kedua,

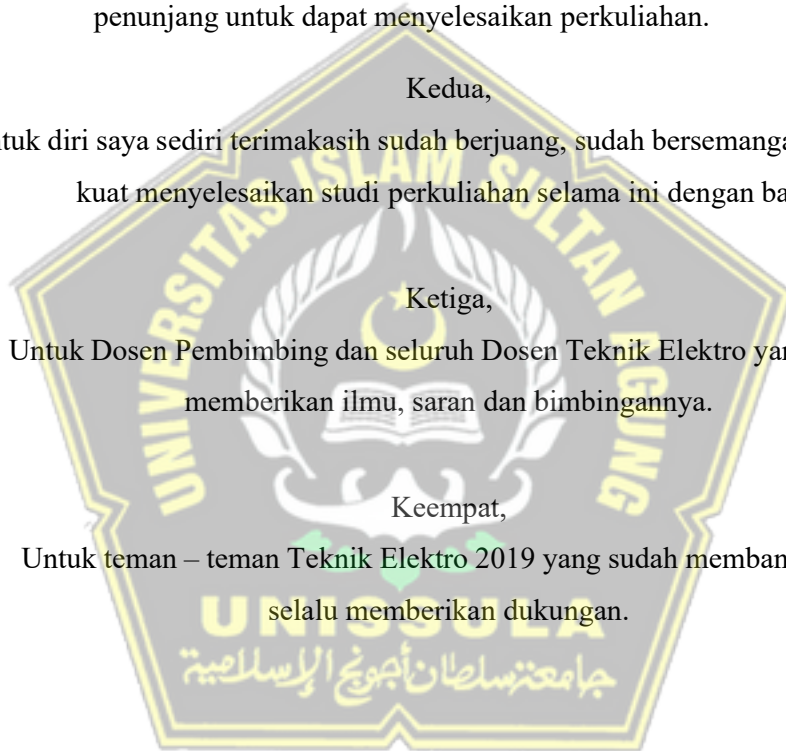
Untuk diri saya sendiri terimakasih sudah berjuang, sudah bersemangat dan sudah kuat menyelesaikan studi perkuliahan selama ini dengan baik.

Ketiga,

Untuk Dosen Pembimbing dan seluruh Dosen Teknik Elektro yang selalu memberikan ilmu, saran dan bimbingannya.

Keempat,

Untuk teman – teman Teknik Elektro 2019 yang sudah membantu serta selalu memberikan dukungan.



## MOTTO

Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum, sebelum mereka mengubah keadaan diri

~QS Ar-Rad 11~

Dan ketahuilah, sesungguhnya kemenangan itu beriringan dengan kesabaran. Jalan keluar beriringan dengan kesukaran. Dan sesudah kesulitan, pasti akan datang kemudahan

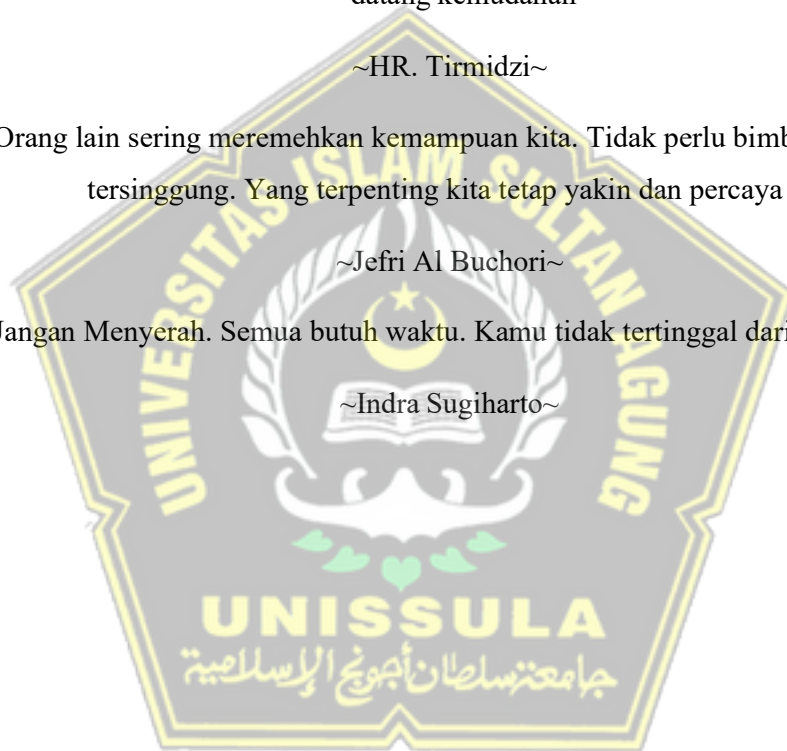
~HR. Tirmidzi~

Orang lain sering meremehkan kemampuan kita. Tidak perlu bimbang apalagi tersinggung. Yang terpenting kita tetap yakin dan percaya diri.

~Jefri Al Buchori~

Jangan Menyerah. Semua butuh waktu. Kamu tidak tertinggal dari siapapun

~Indra Sugiharto~





## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur ke hadirat Tuhan yang Maha Pengasih atas segala limpahan kasih, karunia, dan kehendak-Nya sehingga Tugas Akhir Skripsi dengan judul Analisa Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Rooftop* dengan Sistem *Hybrid* di PT Geomed Indonesia, dapat diselesaikan dengan baik. Selesaiannya Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dan do'a dari berbagai pihak yang telah membantu dalam pembuatan karya ini, ucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat :

1. Ibu Dr. Hj. Novi Marlyana, ST, MT Selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang
2. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST, MT Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang
3. Bapak Dr. Ir. H. Sukarno Budi Utomo, MT. Selaku Dosen Pembimbing pertama yang telah meluangkan waktu selama proses bimbingan
4. Bapak Dr. Gunawan, ST., MT. Selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah meluangkan waktu selama proses bimbingan
5. Bapak Muhammad Khosyi'in, ST, MT Selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung
6. Seluruh dosen pengajar Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang
7. Orang tua tercinta yang telah banyak berkorban demi keberhasilan dalam proses penyelesaian Tugas Akhir
8. Seluruh keluarga tersayang yang telah senantiasa mendo'akan dan memberikan semangat dalam penyelesaian Tugas Akhir
9. Semua pihak yang telah membantu hingga terselesainya pembuatan tugas akhir maupun dalam penyusunan tugas akhir yang tidak dapat disebutkan satu persatu

Dalam pembuatan Laporan Tugas Akhir penulis menyadari bahwa masih jauh dari kata sempurna karena masih keterbatasan ilmu, pengalaman dan kemampuan peneliti. Oleh itu, saran serta kritik yang membangun dari pembaca akan menjadi masukan yang sangat berharga bagi peneliti. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Semarang,



Penulis



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING .....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....</b>	<b>iv</b>
<b>SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....</b>	<b>v</b>
<b>PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....</b>	<b>5</b>
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Dasar Teori.....	6
2.2.1 Pembangkit Listrik.....	6
2.2.2 Energi Terbarukan.....	7
2.2.3 PLTS .....	8
2.2.4 Panel Surya.....	10
2.2.5 Jenis-jenis Sel surya .....	12
2.2.6 Array Modul Surya.....	14
2.2.7 SCC (Solar Charger Controller) .....	15
2.2.8 Inverter .....	16
2.2.9 Baterai .....	18
2.2.10 APP ( Alat Pengukur dan Pembatas).....	21
2.2.11 Genset.....	21

2.2.12	Break Even Point.....	22
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>		<b>23</b>
3.1	Metode Penelitian.....	23
3.2	Objek Penelitian .....	23
3.3	Alat Dalam Penelitian .....	24
3.4	Konfigurasi PLTS <i>Hybrid</i> .....	24
3.5	Data penelitian .....	25
3.5.1	Data Iradiasi Matahari .....	25
3.5.2	Data Konsumsi Energi PT. Geomed Indonesia .....	25
3.6	Komponen.....	27
3.7	Diagram Alur Penelitian.....	28
3.8	Langkah Penelitian.....	29
<b>BAB IV HASIL DAN ANALISA .....</b>		<b>30</b>
4.1	Luas Atap .....	30
4.2	Jumlah Panel .....	33
4.3	Penyusunan <i>Array</i> Panel Surya .....	36
4.4	Penempatan <i>Array</i> Pada <i>Roofstop</i> .....	37
4.5	Menghitung energi yang dihasilkan PLTS <i>rooftop</i> .....	38
4.6	Menentukan kapasitas Solar Charger Controller.....	39
4.7	Menentukan kapasitas Inverter.....	39
4.8	Menentukan Kapasitas Baterai.....	40
4.9	Pembebanan PLTS <i>Hybrid</i> .....	42
4.9.1	Skenario Pembebanan Saat Siang Hari .....	42
4.9.2	Skenario Pembebanan Saat Malam Hari .....	43
4.10	Menentukan Break Even Point.....	43
<b>BAB V PENUTUP.....</b>		<b>46</b>
5.1	Kesimpulan .....	46
5.2	Saran.....	46
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>47</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>49</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Sistem PLTS Off-Grid .....	8
<b>Gambar 2. 2</b> Sistem PLTS On-Grid .....	10
<b>Gambar 2. 3</b> Sistem PLTS <i>Hybrid</i> .....	10
<b>Gambar 2. 4</b> Struktur Modul photovoltaik .....	11
<b>Gambar 2. 5</b> Modul Surya Monocrystalline .....	13
<b>Gambar 2. 6</b> Modul surya Polycrystalline.....	13
<b>Gambar 2. 7</b> Modul surya dengan Teknologi Thin Film.....	14
<b>Gambar 2. 8</b> <i>Solar charger controller</i> jenis MPPT .....	16
<b>Gambar 2. 9</b> Gelombang keluaran inverter .....	17
<b>Gambar 2. 10</b> Baterai Timbal .....	19
<b>Gambar 2. 11</b> Baterai Li-Ion .....	19
<b>Gambar 2. 12</b> Baterai Li-Po.....	20
<b>Gambar 2. 13</b> Baterai Nikel-Cadmium .....	20
<b>Gambar 2. 14</b> APP kWh Exim .....	21
<b>Gambar 2. 15</b> Genset .....	22
<b>Gambar 3. 1</b> Lokasi PT Geomed Indonesia.....	23
<b>Gambar 3. 2</b> Konfigurasi PLTS <i>Hybrid</i> di PT Geomed Indonesia.....	24
<b>Gambar 3. 3</b> Modul Panel Surya Jinko 405 Wp .....	27
<b>Gambar 3. 4</b> Flowcart/diagram Alur Tugas Akhir .....	28
<b>Gambar 4. 1</b> kemiringan atap gedung PT. Geomed Indonesia .....	30
<b>Gambar 4. 2</b> Ukuran panjang dan lebar atap PT Geomed Indonesia .....	32
<b>Gambar 4. 3</b> Penyusunan array.....	36
<b>Gambar 4. 4</b> Penempatan Array Pada Rooftop.....	38
<b>Gambar 4. 5</b> Kondisi PLTS Saat Siang Hari .....	42
<b>Gambar 4. 6</b> Kondisi PLTS Saat Malam Hari.....	43

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3. 1</b> Rata – rata iradiasi matahari [Sumber: Meteonorm 8.0].....	25
<b>Tabel 3. 2</b> Konsumsi harian energi PT Geomed Indonesia.....	26
<b>Tabel 3. 3</b> Spesifikasi Modul Panel Surya 405 Wp Jinko Monocrystalline.....	27
<b>Tabel 4. 1</b> Biaya Perencanaan PLTS .....	44



## ABSTRAK

Permintaan energi listrik saat ini terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi manusia setiap tahun. Salah satu industri di Kota Semarang yaitu PT Geomed Indonesia mengalami kenaikan konsumsi dikarenakan jumlah produksi semakin naik. Hal ini mendorong konsumsi batubara semakin banyak. Kenaikan konsumsi listrik di PT Geomed Indonesia mengakibatkan naiknya biaya listrik. Banyak solusi dalam menekan biaya listrik tanpa pengurangan produksi yaitu salah satunya dengan memanfaatkan energi baru terbarukan (EBT) dan memanfaatkan lahan kosong atap sebagai pembangkit listrik. Salah satu energi baru terbarukan yang cocok di Indonesia adalah energi dari sinar matahari atau pembangkit listrik tenaga surya, dikarenakan letak Indonesia berada di garis katulistiwa dimana pendapatan sinar matahari lebih banyak dari yang lain, tercatat rata-rata pancaran sinar matahari sebesar 5,27 kWh/m/hari di Kota Semarang.

Analisis perencanaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan sistem hybrid di PT Geomed Indonesia melibatkan penggabungan listrik dari panel surya yang disimpan dalam baterai bersama dengan pasokan listrik dari PLN. Model ini mengadaptasi ukuran panel surya sesuai dengan luas atap PT Geomed Indonesia, dengan parameter yang mencakup luas atap, kapasitas panel surya, kapasitas inverter, dan kapasitas baterai.

Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa PLTS Dengan aturan tersebut maka dapat diperoleh dari penelitian kali ini yaitu panel terpasang sebanyak 234 modul dengan total pembangkitan 94,77 kWp, sedangkan untuk solar Charger Controller dan inverter menggunakan kapasitas 40 kW, total baterai mencapai 528 buah kapasitas 200Ah. Untuk titik impas atau Break Even point perencanaan PLTS dengan sistem hybrid ini yaitu 11 tahun bulan ke 8.

Kata Kunci : Break Even Point , PLTS, *Hybrid*, PT Geomed Indonesia

UNISSULA  
جامعة سلطان أبوبوع الإسلامية

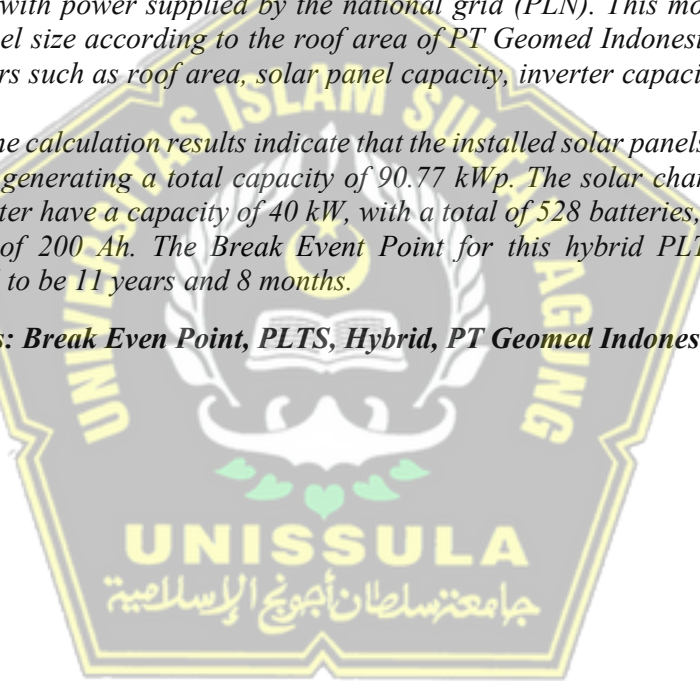
## **ABSTRACT**

*The demand for electrical energy is continuously increasing due to the growing human population each year. One of the industries in Semarang City, Indonesia, specifically PT Geomed Indonesia, has experienced rising consumption due to increased production. Consequently, the consumption of coal has also increased, leading to higher electricity costs. To mitigate these costs without reducing production, one solution is to harness renewable energy sources and utilize unused rooftop space for electricity generation. Solar energy, in particular, is well-suited for Indonesia, given its location near the equator, resulting in abundant sunlight. On average, solar irradiance in Semarang City reaches 5.27 kWh/m<sup>2</sup>/day.*

*The analysis of solar power plant (PLTS) planning with a hybrid system at PT Geomed Indonesia involves combining electricity from solar panels stored in batteries with power supplied by the national grid (PLN). This model adapts the solar panel size according to the roof area of PT Geomed Indonesia, considering parameters such as roof area, solar panel capacity, inverter capacity, and battery capacity.*

*The calculation results indicate that the installed solar panels consist of 234 modules, generating a total capacity of 90.77 kWp. The solar charger controller and inverter have a capacity of 40 kW, with a total of 528 batteries, each having a capacity of 200 Ah. The Break Event Point for this hybrid PLTS planning is estimated to be 11 years and 8 months.*

**Keywords:** *Break Even Point, PLTS, Hybrid, PT Geomed Indonesia*





# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, energi listrik telah menjadi kebutuhan dasar masyarakat di era modern ini. Ketersediaan listrik harus mampu memenuhi kebutuhan sarana dan prasarana yang mendukung pertumbuhan pembangunan. Saat ini, sumber energi utama untuk pembangkit listrik masih bergantung pada energi fosil, yang ketersediaannya semakin menipis. Melihat situasi ini, diperlukan sumber energi alternatif, yaitu energi baru terbarukan. Salah satu sumber energi terbarukan yang menjanjikan adalah energi surya. Energi surya dapat diambil dari matahari dengan menggunakan panel surya, yang dapat dipasang di berbagai lokasi, termasuk di atap gedung, dikenal sebagai pembangkit listrik tenaga surya *rooftop*. Pada saat ini kebutuhan energi listrik semakin tinggi dan meningkat setiap harinya. Dengan meningkatnya yang sangat pesat populasi manusia disetiap tahunnya. Hal ini akan menyebabkan penambangan batubara terjadi secara terus menerus, menjadikan cadangan batubara akan semakin sedikit dan menipis. Terutama di industri dan perusahaan yang menjadi salah satu sektor yang paling banyak dalam mengkonsumsi energi listrik dimana penggunaan listrik dibagian industri pada triwulan pertama tahun ini mencapai senilai 21.953 Giga Watt hour (GWh). Nilai ini 33,56% dari total penggunaan nasional, apabila dibandingkan dengan bulan Maret tahun lalu pertumbuhan konsumsi bagian industri masih 4%. Tetapi tahun ini naik 16%. [1]

PT PLN (Perusahaan Listrik Negara) membatasi penggunaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) atap hanya 10-15% dari kapasitas listrik terpasang PLN. Kebijakan ini berlaku untuk pemasangan PLTS diresidensial atau perumahan, komersial dan industri sebagai syarat pengajuan net metering atau KWH meter Exim. Selain itu, perhitungan daya listrik (*feed-in tarif*) untuk pelanggan PLTS didasarkan pada kilowatt-jam (kWh) yang diimpor dari PLN dikurangi nilai kWh ekspor yang tercatat pada kWh meter ekspor-impor dari semula dikali 100% kembali menjadi 65% Tarif Dasar Listrik. [2]

PT Geomed Indonesia merupakan salah satu konsumen pemakaian energi listrik dari PT PLN (persero) yang memiliki daya tersambung 1.730 kVA dan termasuk ke dalam golongan tarif I-3/TM. PT Geomed Indonesia yang terletak di kota Semarang bergerak di bidang manufaktur peralatan kedokteran dan medis, khususnya alat bedah dan gigi yang berkualitas tinggi dan inovatif. Didalam proses produksi alat kesehatan terdapat pula peralatan yang ketergantungan dengan energi listrik dengan rata-rata konsumsi listrik harian 3010 kWh perusahaan ini menghadapi tantangan dalam hal pasokan energi yang berkelanjutan untuk operasionalnya. Oleh karena itu, perencanaan pembangkit listrik tenaga surya *rooftop* dengan sistem *hybrid* menjadi solusi yang menarik, Sistem ini merupakan kombinasi antara *On-Grid* dan *Off-Grid* yang terdapat baterai sebagai cadangan jika panel surya tidak menghasilkan energi, dan terhubung dengan PLN ketika baterai dan panel surya tidak memiliki energi. Kondisi PT. Geomed Indonesia dengan luas 10.000 m<sup>2</sup>, salah satu energi baru terbarukan yang ideal, karena letaknya berada di garis khatulistiwa dengan rata-rata intensitas radiasi matahari sebesar 5,27 kWh/m/hari adalah penggunaan modul surya yang dipasang pada atap bangunan. Oleh sebab itu, pembebasan lahan tidak diperlukan maupun mempersiapkan lahan lagi. Maka dari itu, penelitian ini akan mencari dan menghitung *Break Even Point* atau yang lebih sering disebut titik impas dalam perencanaan PLTS sistem *hybrid*. Sistem ini merupakan kombinasi antara *On-Grid* dan *Off-Grid* yang terdapat baterai sebagai cadangan jika panel surya tidak menghasilkan energi, dan terhubung dengan PLN ketika baterai dan panel surya tidak memiliki energi.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dapat dibuat sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan ukuran sistem PLTS dengan sistem *hybrid* yang optimal sebagai *backup* daya di PT Geomed Indonesia?
2. Berapa biaya investasi pemasangan PLTS dengan sistem *hybrid* di PT Geomed Indonesia?
3. Berapa lama titik impas atau *Break Even Point* dalam perencanaan PLTS dengan sistem *hybrid* di PT Geomed Indonesia ?

### 1.3 Batasan Masalah

Supaya pada penelitian kali ini dapat dilakukan lebih mendalam dan fokus, Oleh sebab itu, penulis menilai bahwa permasalahan penelitian yang diangkat variabelnya perlu dibatasi. Maka dari itu, penulis menetapkan batasan masalah sebagai berikut :

1. Perhitungan besar kapasitas daya listrik yang dihasilkan oleh PLTS hanya mengacu pada batas pemasangan berdasarkan regulasi PLN.
2. Penelitian ini memperkirakan berapa jumlah panel surya yang terpasang.
3. Peralatan yang digunakan merupakan peralatan yang ada di pasaran.
4. Tidak membahas secara detail tentang komponen pendukung PLTS.
5. Tidak membahas umur pakai komponen PLTS.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengidentifikasi kebutuhan kapasitas daya PLTS sistem *hybrid* yang diperlukan sebagai *backup* pada PT. Geomed Indonesia.
2. Mengetahui biaya investasi dan waktu titik impas (*break even point*) perencanaan PLTS *rooftop* sistem *hybrid* pada PT Geomed Indonesia.
3. Mengidentifikasi dan mengatasi tantangan teknis dan ekonomi terkait dengan implementasi PLTS sistem *hybrid*.
4. Mengurangi tagihan biaya listrik di PT Geomed Indonesia.

### 1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian pada tugas akhir ini yaitu untuk menyediakan sumber energi cadangan yang dapat diandalkan saat terjadi gangguan pada sistem utama, mengetahui berapa kapasitas daya PLTS yang bisa dihasilkan *rooftop* PT Geomed Indonesia, mengurangi biaya listrik dan serta mengetahui titik impas (*break even point*) yang dapat menjadi acuan untuk mengembangkan pembangkit listrik tenaga surya agar dapat diterapkan semua kalangan masyarakat.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Dalam rangka mempermudah proses penyusunan tugas akhir kali ini, penulis telah menyusun sistematika sebagai berikut:

### **BAB I            PENDAHULUAN**

Bab ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

### **BAB II            TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

Berisi tentang tinjauan pustaka dan dasar teori yang sudah pernah dilakukan, komponen yang akan digunakan dalam perencanaan PLTS (Pembangkit listrik Tenaga Surya) *Rooftop*, dan persamaan sebagai rumus pada perhitungan.

### **BAB III           METODE PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan tentang model penelitian meliputi waktu dan tempat penelitian, alat bahan yang digunakan bisa berupa software sebagai media pendukung data setiap komponen yang akan digunakan

### **BAB IV           HASIL DAN ANALISA**

Bab ini berisi tentang pembahasan data, nilai perhitungan dan analisa penelitian serta pengolahan data yang didapatkan dari hasil penelitian di lokasi untuk dilakukan analisis waktu *break even point*.

### **BAB V            PENUTUP**

Bab ini menjelaskan hasil data penelitian dan analisa yang telah dilakukan sehingga dapat ditarik kesimpulan dan saran sebagai penutup tugas akhir ini.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Dalam penyusunan penelitian ini, berikut uraian atau penelitian terdahulu yang berisi tentang Analisa perencanaan PLTS yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya, antara lain :

- a. Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Daryal Fuaddin pada tahun 2020 dengan judul "Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid Kapasitas 20 kWp untuk Rumah Tinggal". Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang PLTS Kapasitas 20 kWp yang akan dipasang di atap rumah. Rancangan PLTS ini terdiri dari panel-panel surya, inverter, beberapa alat pengaman, serta kWh meter. Selain itu, penelitian ini juga membahas analisis pengaruh pergerakan matahari dan orientasi pemasangan terhadap produksi energi listrik. Rancangan ini disimulasikan menggunakan aplikasi PVsyst dengan input 56 modul yang diplot ke dalam 4 string dan 2 array. Analisis perspektif plotting dilakukan untuk mengetahui pengaruh pergerakan matahari dan orientasi plotting terhadap produksi energi listrik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa terdapat pengurangan energi iradiasi matahari pada kolektor sebesar 15,4%. Produksi energi listrik dalam satu tahun mencapai 23.753 kWh sesuai dengan perhitungan panel, orientasi panel, dan pergerakan matahari. Rugi-ruginya sebesar 17%, dengan rasio pembangkitan sebesar 0,822 yang dianggap cukup baik untuk PLTS, mengingat rasio pembangkitan umumnya hanya sekitar 0,75. (Array losses) sebesar 0,62 kWh/kWp per hari, sementara rugi sistemnya sebesar 0,1 kWh/kWp per hari. [3]
- b. Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Andrian Mayka Ariawan pada tahun 2021 dengan judul "Perencanaan Pembangunan PLTS *Hybrid* Di Pondok Pesantren Al-Anwar 4 Serang, Kabupaten Rembang, Provinsi Jawa Tengah". Tujuan dari penelitian ini adalah Perencanaan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Pondok Pesantren Al-Anwar 4 Serang,

Kabupaten Rembang, Provinsi Jawa Tengah telah direkomendasikan untuk menggunakan desain PLTS Hybrid yang terdiri dari kanopi dengan modul surya berkapasitas 340 Wp sebanyak 30 buah, dengan total kapasitas 10,2 kWp. PLTS ini dilengkapi dengan sistem backup baterai, rumah daya, dan penangkal petir. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan PVsyst, PLTS tersebut mampu menghasilkan energi listrik hingga 38,49 kWh per hari atau setara dengan 14.052 kWh per tahun, dengan performance ratio sebesar 81,9%. [4]

- c. Penelitian Sebelumnya dilakukan oleh Satria Sanjaya pada tahun 2023 dengan judul “Studi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid Pada Gedung M Universitas Semarang”. Yang bertujuan untuk upaya pengurangan tagihan listrik. Perencanaan dilakukan dengan menghitung kebutuhan beban pada Gedung M Universitas Semarang, menghitung potensi daya yang dihasilkan oleh PLTS serta menganalisis *voltage drop* yang terjadi pada sistem PLTS Hybrid menggunakan software ETAP. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan Kebutuhan daya pada Gedung M Universitas Semarang 55,696 kW dengan lamanya pemakaian selama 14 jam setiap hari menghasilkan energi sebesar 779,744 kWh. Pada penelitian ini PLTS direncanakan mampu mengurangi kebutuhan daya sebanyak 40% yaitu 22,278 kW atau 311,897 kWh. Kapasitas PLTS yang digunakan 63 kWp, modul PV 265 WP dengan jumlah 235 buah, Inverter 30 kW sebanyak 3 buah. [5]

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Pembangkit Listrik

Pembangkit listrik adalah fasilitas yang dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik dengan cara mengubah energi gerak atau mekanik menjadi energi listrik melalui turbin yang terhubung pada generator. Terdapat berbagai jenis pembangkit listrik tergantung pada sumber energi mekanik yang digunakan, antara lain: Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Pembangkit listrik tenaga air (PLTA), Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), Pembangkit listrik tenaga gas uap (PLTGU), Pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB), Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTPB), dan Pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN).

### 2.2.2 Energi Terbarukan

Istilah "Energi Terbarukan" mengacu pada jenis energi alam yang dapat diregenerasi secara teratur dan digunakan tanpa batas waktu. Energi terbarukan dapat dibuat dengan menggunakan pergantian peristiwa inovatif yang semakin kompleks, sehingga menjadi sumber energi pilihan yang tepat. Energi baru terbarukan ini mempunyai berbagai macam pemanfaatan energi alam diantaranya :

- a. Energi matahari : Sumber energi ini dihasilkan dari penangkapan intensitas radiasi matahari atau sinar matahari, yang kemudian diubah menjadi listrik atau panas. Untuk menghasilkan listrik, panas dari matahari diserap oleh panel surya (solar panel) dan dikonversi menjadi listrik.
- b. Energi angin : Energi angin : Udara bergerak melalui angin. Tenaga angin sudah ada sejak lama. Misalnya industri di Belanda menggunakan tenaga angin untuk menggerakkan turbin yang menghasilkan listrik. Generator digerakkan oleh turbin untuk menghasilkan listrik.
- c. Energi pasang surut : Pasang surut air laut menyediakan energi ini. Diketahui bahwa energi ini juga digunakan di pantai timur amerika serikat dan di eropa. Turbin pantai membantu konversi energi pasang surut menjadi energi mekanik untuk pembangkit listrik.
- d. Gelombang energi : Energi ini juga digunakan untuk menghasilkan listrik. Namun infrastruktur yang dibutuhkan untuk mengembangkan energi gelombang ini sangat mahal.
- e. Energi panas laut : Energi panas laut : Setiap bagian air laut memiliki suhu yang berbeda; bagian dalamnya terasa dingin, dan permukaannya terasa panas karena terkena sinar matahari. Menggunakan teknologi mutakhir, perbedaan temperatur suhu ini digunakan untuk menghasilkan energi listrik.

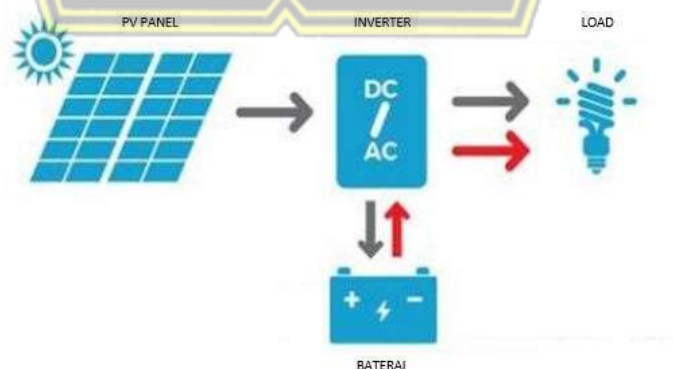
### 2.2.3 PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah jenis pembangkit listrik yang menggunakan radiasi sinar matahari sebagai sumber daya, memanfaatkan sel surya (fotovoltaik) untuk mengubah radiasi foton matahari menjadi energi listrik. Sumber energi ini ramah lingkungan dan memiliki potensi besar di masa depan, karena tidak menghasilkan polusi pada saat proses konversi energi. Energi ini berasal dari alam, terutama di negara-negara tropis seperti Indonesia dipancarkan oleh sinar matahari sepanjang tahun.[5]

Berdasarkan penggunaan dan konfigurasinya, secara garis besar PLTS dibagi menjadi dua jenis, yaitu Sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan PLN (*off-grid*) dan sistem PLTS terhubung dengan jaringan PLN (*On-grid*). Sedangkan PLTS yang digabung dengan jenis pembangkit listrik lain disebut sistem *hybrid*. [5]

#### A. PLTS Terpusat (*Off-Grid*)

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (PLTS Terpusat) adalah sistem pembangkit listrik alternatif yang ditujukan untuk daerah terpencil atau pedesaan yang tidak terjangkau oleh jaringan PLN. Sistem ini juga dikenal sebagai *Stand Alone PV System*, yang sepenuhnya mengandalkan energi matahari sebagai sumber energi utama dan menggunakan rangkaian modul fotovoltaik untuk menghasilkan listrik sesuai kebutuhan. [6]. Gambar 2.1 merupakan salah satu model PLTS dengan koneksi sistem *Off-Grid*.



**Gambar 2. 1** Sistem PLTS *Off-Grid*



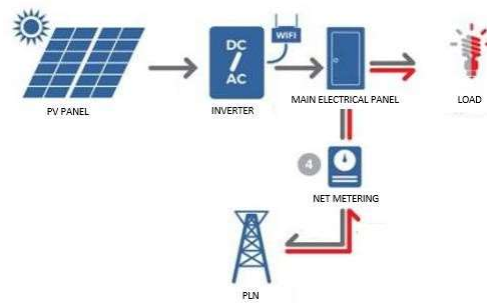
Prinsip kerja sistem PLTS terpusat dapat dijelaskan sebagai berikut:

Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya (fotovoltaik) pada saat siang hari disimpan dalam baterai. Proses pengisian energi dari modul surya ke baterai diatur oleh *Solar Charge Controller* untuk mencegah *overcharge*. Jumlah energi yang dihasilkan oleh modul surya sangat bergantung pada intensitas sinar matahari yang diterima dan efisiensi sel. Intensitas sinar matahari maksimal mencapai  $1000 \text{ W/m}^2$ , dan dengan efisiensi sel sebesar 14%, daya yang dihasilkan oleh modul surya adalah  $140 \text{ W/m}^2$ . Energi yang tersimpan dalam baterai kemudian digunakan untuk menyuplai beban melalui inverter saat dibutuhkan. Inverter mengubah tegangan DC dari baterai menjadi tegangan AC untuk beban.[5]

#### B. PLTS Terinterkoneksi (*On-Grid*)

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terinterkoneksi adalah salah satu metode yang dapat menghemat tagihan listrik rumah tangga serta mampu menambah nilai bagi pemiliknya. Sesuai dengan namanya, PLTS On-Grid atau *grid connected PV*, sistem ini tetap terhubung dengan jaringan PLN dan mengoptimalkan penggunaan energi surya untuk menghasilkan listrik secara maksimal. [6]

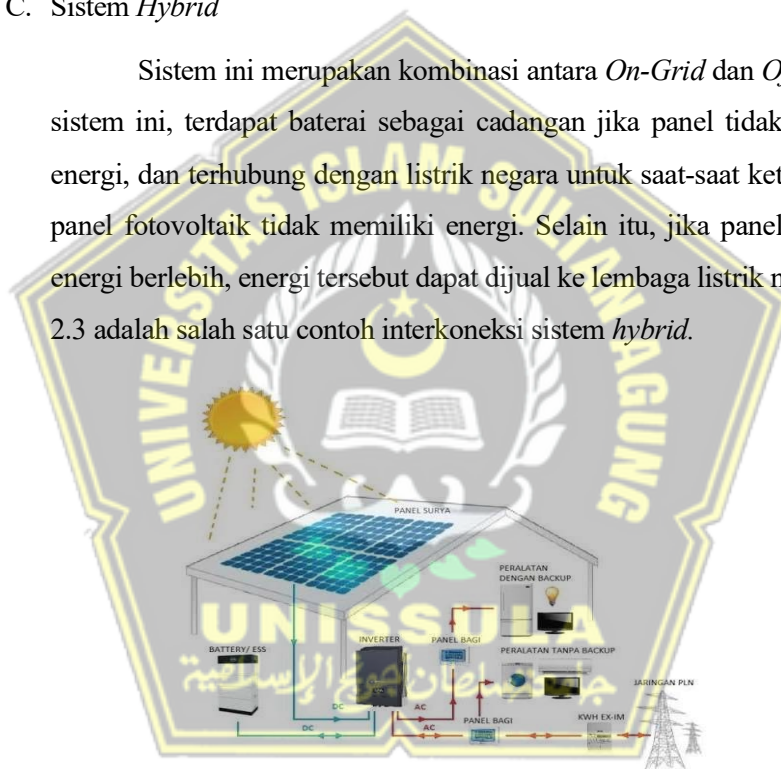
Berdasarkan jenis operasionalnya, sistem tenaga listrik ini dibagi menjadi dua jenis: sistem dengan penyimpanan (*storage*), yang dikenal sebagai *Grid-connected PV with a battery backup*, yang menggunakan baterai sebagai cadangan dan penyimpanan tenaga listrik, serta sistem tanpa penyimpanan, atau *grid-connected PV without a battery backup*. Pada PLTS On-grid, baterai berfungsi sebagai sumber tenaga listrik cadangan saat jaringan mengalami kegagalan untuk jangka waktu tertentu. Berdasarkan aplikasinya, sistem ini dibagi menjadi dua yaitu, *Grid-connected distributed PV* dan *Grid-connected centralized PV*. Gambar 2.2 salah satu koneksi sistem PLTS model On-Grid.



**Gambar 2. 2** Sistem PLTS On-Grid

### C. Sistem *Hybrid*

Sistem ini merupakan kombinasi antara *On-Grid* dan *Off-Grid*. Dalam sistem ini, terdapat baterai sebagai cadangan jika panel tidak menghasilkan energi, dan terhubung dengan listrik negara untuk saat-saat ketika baterai dan panel fotovoltaik tidak memiliki energi. Selain itu, jika panel menghasilkan energi berlebih, energi tersebut dapat dijual ke lembaga listrik negara. Gambar 2.3 adalah salah satu contoh interkoneksi sistem *hybrid*.

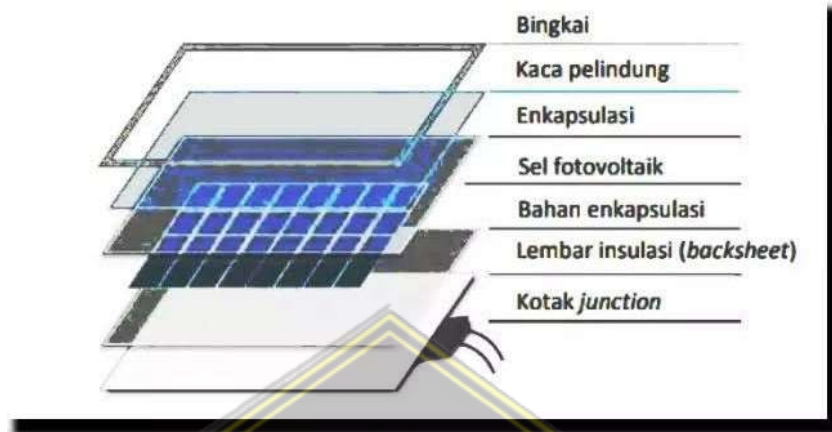


**Gambar 2. 3** Sistem PLTS *Hybrid*

#### 2.2.4 Panel Surya

Modul Panel Surya terdiri dari kumpulan sel fotovoltaik yang saling terhubung secara seri dalam satu wadah. Sel-sel tersebut dilapisi untuk melindunginya dari kontak langsung dengan lingkungan atau benda-benda mekanik yang dapat merusak sel fotovoltaik. Karena sel fotovoltaik berupa sel-sel tipis yang rentan retak, maka diperlukan lapisan-lapisan pelindung agar sel-

sel ini menjadi kuat. Kinerja sel fotovoltaik tergantung pada sinar matahari yang diubah menjadi listrik. Oleh karena itu, modul panel surya memiliki banyak lapisan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



**Gambar 2. 4** Struktur Modul photovoltaik

Bagian - bagian dari modul photovoltaic adalah sebagai berikut :

- a. Bingkai atau *frame* bahan yang berfungsi untuk mengurangi korosi dan terbuat dari *aluminium anodized*.
- b. Kaca pelindung yang berfungsi untuk melindungi sel photovoltaik dari lingkungan sekitar serta sebagai kekuatan sel photovoltaik itu sendiri. Selain itu disini kaca pelindung merupakan bahan yang paling vital dari pada bahan yang lain
- c. Enkapsulasi atau disebut laminasi merupakan lapisan dari photovoltaik dan kaca pelindung. Bahan yang dipakai dalam laminasi adalah *ethylene-vinyl acetate* (EVA). Fungsi dari laminasi antara lain adalah mencegah kerusakan mekanisme sel surya dan melindungi sel surya terhadap modul lainnya.
- d. Sel photovoltaik atau disebut sel surya merupakan komponen utama dari modul photovoltaik tersebut. Sel photovoltaik terbuat dari bahan semikonduktor yang dapat mengubah tangkapan sinar matahari menjadi energi listrik.

- e. Lembar insulasi (*backsheet*) yang berfungsi untuk melindungi modul photovoltaik dan mengisolasi sel- sel dari kelembaban dan cuaca, lebar insulasi yang terbuat dari bahan plastik.
- f. Kotak penghubung (*junction box*) berfungsi sebagai penghubung antara modul photovoltaik dengan beban.[7]

### 2.2.5 Jenis-jenis Sel surya

Sel surya sendiri memiliki beberapa jenis dan sel surya dapat mempengaruhi daya output serta juga mempengaruhi dari segi harga jual sel surya tersebut, bahan yang sering digunakan dalam pembuatan sel surya merupakan *cadimium telluride* dan *copper indium (gallium)* ada juga yang menggunakan bahan semi konduktor yang berjenis silikon. Selain silikon ada bahan berjenis film tipis yang berfungsi sebagai bahan pembuatan sel surya dengan menggunakan metode *plasma-enhanced chemical vapor deposition (PEVCD)* dari hydrogen dan *gasoline*. Berikut merupakan jenis – jenis sel surya yang terbagi berdasarkan bahan pembuatannya :

#### 1. *Crystalline Silikon (c-Si)*

Jenis *crystalline silicon* merupakan bahan yang sering digunakan dalam pembuatan sel surya. Efisiensi yang terdapat pada bahan ini memiliki nilai yang sangat tinggi. Ada 2 teknologi yang diterapkan pada panel surya dengan menggunakan bahan *crystalline*.

##### a. *Monocrystalline*

*Monocrystalline* merupakan salah satu dari teknologi sel surya yang mempunyai tingkat efisiensi yang tinggi dengan nilai besaran 14 -17% dan mempunyai rata-rata umur panel surya *monocrystalline* 20 tahun lebih. *Monocrystalline* terbuat dari batang silikon tunggal berbentuk silinder yang kemudian diiris tipis menjadi wafers dengan ketebalan sekitar 200- 250  $\mu\text{m}$ . Berikut gambar dari modul surya *monocrystalline* diperlihatkan pada Gambar 2.5.



**Gambar 2. 5** Modul Surya Monocrystalline

b. *Polycrystalline*

*Polycrystalline* sama dengan halnya *monocrystalline*, terbuat dari batang silikon tunggal berbentuk silinder yang kemudian diiris tipis menjadi wafers dengan ketebalan sekitar 180-130  $\mu\text{m}$  yang lebih tipis dibandingkan dengan jenis *monocrystalline*, oleh sebab itu panel jenis ini berfungsi untuk menurunkan harga yang berdampak pada efisiensi yang kurang baik yaitu sekitar 12-14%. *Polycrystalline* mempunyai warna cenderung biru seperti yang terlihat di Gambar 2.6.



**Gambar 2. 6** Modul surya Pollycrystalline

2. *Thin Film Sollar Cell*

*Thin Film Sollar Cell* mempunyai teknologi dalam pembuatan sel surya jenis ini adalah menghemat biaya produksi. Dengan metode *plasma enhanced chemical vapor deposition (PEVCD)*, tingkat efisiensi teknologi jenis ini menjadi yang tertinggi dengan nilai efisien 19%. Berikut Gambar 2.7 merupakan contoh panel surya dengan teknologi thin film.



**Gambar 2.7** Modul surya dengan Teknologi Thin Film

### 2.2.6 *Array* Modul Surya

Dalam perancangan PLTS, diperlukan mengetahui total luas rencana yang akan dibangunnya pembangkit listrik tenaga surya. Sebelum menentukan komponen lainnya, hal utama yang diperlukan yaitu menentukan luas agar mendapatkan penyusunan *array* secara tepat serta tidak memerlukan tempat yang berlebihan, dengan persamaan (2.1) luas *array* modul surya dapat ditentukan.

$$\text{Luas Array} = \frac{EL}{Gav \times \eta_{PV} \times \eta_{out} \times FKT} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan,

$EL$  = Nilai energi yang ingin dibangkitkan (kWh/hari)

$Gav$  = Intensitas Radiasi sinar Matahari (kWh/m<sup>2</sup>/hari)

$\eta_{PV}$  = Efisiensi pada panel surya (%)

$\eta_{out}$  = Efisiensi keluaran sistem (%)

$FKT$  = Faktor koreksi temperature (%)

$Luas Array$  = Luas permukaan *array* modul surya (m<sup>2</sup> )

Jika sudah mendapatkan luas *array* modul surya, maka selanjutnya dapat mengetahui besarnya nilai daya yang bisa dibangkitkan. Untuk itu persamaan (2.2) merupakan persamaan untuk mencari besarnya daya maksimal yang bisa dibangkitkan.

$$P_{wattpeak} = Luas Array \times PSI \times \eta_{PV} \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan,

- $P_{wattpeak}$  = Daya yang akan dibangkitkan PLTS (W)
- $Luas Array$  = Luas permukaan panel surya ( $m^2$ )
- $PSI$  = Peak Solar Insolation ( $1000 W/m^2$ )
- $\eta_{PV}$  = Efisiensi pada panel surya (%)

Besaran daya yang akan dibangkitkan dapat diketahui dengan persamaan (2.2), dari persamaan tersebut juga dapat mengetahui berapa jumlah panel yang diperlukan serta berapa yang dapat terpasang dengan besarnya kapasitas tersebut dengan menggunakan persamaan (2.3).

$$\text{Jumlah Panel} = \frac{P_{wattpeak}}{P_{max}} \dots \dots \dots (2.3)$$

dengan,

- $P_{wattpeak}$  = Daya yang ingin dibangkitkan PLTS (W)
- $P_{max}$  = Kapasitas daya maksimal pada panel surya (W)

### 2.2.7 SCC (Solar Charger Controller)

*Charger controller* mempunyai fungsi untuk memastikan baterai supaya saat proses tidak terjadi kelebihan pelepasan muatan (*over discharge*) dan kelebihan pengisian muatan (*over charger*) saat beroperasi yang dapat menjadikan baterai tidak bertahan lama. *Charger controller* juga mampu mengontrol tegangan dan arus keluaran masuk baterai sesuai dengan kondisi baterai. Salah satu contoh SCC (*Solar Charger Controller*) di tunjukkan pada Gambar 2.8.



**Gambar 2. 8** Solar charger controller jenis MPPT

Tegangan dan arus masukan dari SCC (*solar charger controller*) harus lebih tinggi dari panel surya. Batas aman (*safety margin*) yaitu 1,25 untuk arus tegangan maksimum masukkan yang harus juga dipertimbangkan [7]. Berikut cara untuk menentukan tegangan dan arus pada spesifikasi SCC (*solar charger controller*) dengan dapat menggunakan persamaan (2.4).

$$\text{Capacity of charger controller} = \frac{\text{Demand Watt} \times \text{Safety Factor}}{\text{System Voltage}} \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan:

- Demand Watt* = Permintaan daya / daya output (W)
- Safety Factor* = Faktor keamanan
- System Voltage* = Tegangan pada sistem (V)

### 2.2.8 Inverter

*Inverter* merupakan rangkaian elektronika yang berfungsi sebagai pengubah tegangan searah DC (*Dirrect Current*) ke tegangan AC (*Alternating Current*) bolak balik dengan menggunakan frekuensi tertentu. Prinsip kerja inverter sendiri yaitu kebalikan dari converter atau sering disebut adaptor jika adaptor mengubah tegangan AC (*Alternating Current*) menjadi tegangan DC (*Dirrect Current*). Pada perancangan PLTS sendiri juga perlu diperhatikan dalam pemilihan *inverter*, adanya inverter yang khusus *off-grid* dan *on-grid* maupun *hybrid*. Pembagian *inverter* sendiri menurut fasanya ada 2 yaitu inverter 1 fasa (L-N) dan 3 fasa (R-S-T). Sedangkan berdasarkan pengaturan tegangannya ada tiga yaitu [8] :



a. *Voltage Fed Inverter (VFI)*

Tegangan input inverter ini di atur konstan

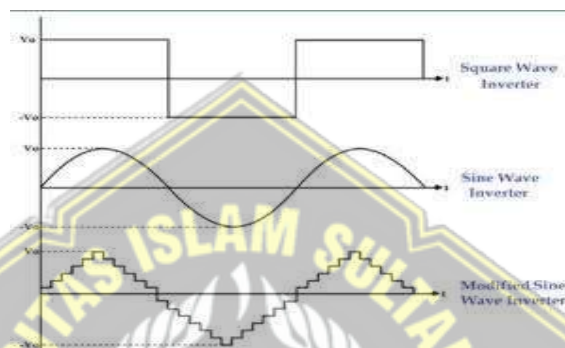
b. *Current Fed Inverter (CFI)*

Arus input inverter ini diatur konstan

c. *Variable DC linked inverter*

Tegangan input di inverter ini dapat diatur sesuai pengguna

Berdasarkan bentuk gelombang inverter dibagi menjadi empat yaitu [9]:



**Gambar 2.9** Gelombang keluaran inverter

- a. *Square sine wave inverter*
- b. *Modified sine wave inverter*
- c. *Pure sine wave inverter*
- d. *Grid tie inverter*

Yang harus diperhatikan dalam penggunaan inverter antara lain sebagai berikut :

1. Kapasitas daya *Inverter*

Proses kerja *inverter* adalah bekerja saat kondisi normal, rata-rata maupun daya puncak. Oleh karena itu perlunya *safety factor* sebagai pengaman jika terjadi beban puncak, *safety factor* untuk *inverter* yaitu sebesar 1,25. Salah satu cara yang dapat menentukan kapasitas *inverter* dengan menggunakan persamaan (2.5) yang sudah ada *safety factor*-nya.

$$\text{Capacity of inverter} = \text{Demand Watt} \times \text{Safety factor} \dots \dots \dots (2.5)$$

dengan,

*Demand Watt* = Permintaan daya / daya output (W)

*Safety factor* = Faktor keamanan

*Capacity of inverter* = Kapasitas Inverter

2. Tegangan input *inverter*
3. Arus input *inverter*
4. Memiliki kualitas siklus murni
5. Menggunakan sistem komutasi elektronik dengan *insulated gate bipolar transistor*
6. Memiliki sistem pengaturan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*)
7. Mampu bekerja dalam temperatur suhu 45° C

### 2.2.9 Baterai

Baterai yang digunakan dalam sistem PLTS yang berfungsi sebagai *back up* energi atau cadangan jika saat panel surya mendapatkan energi minimum dari matahari maka baterai yang akan bekerja untuk menyuplai *inverter* sebagai pengganti energi dari panel surya. Baterai hanya digunakan didalam sistem *off-grid* dalam sistem PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) akan tetapi sekarang baterai juga dapat digunakan dalam sistem PLTS *hybrid*. [10]

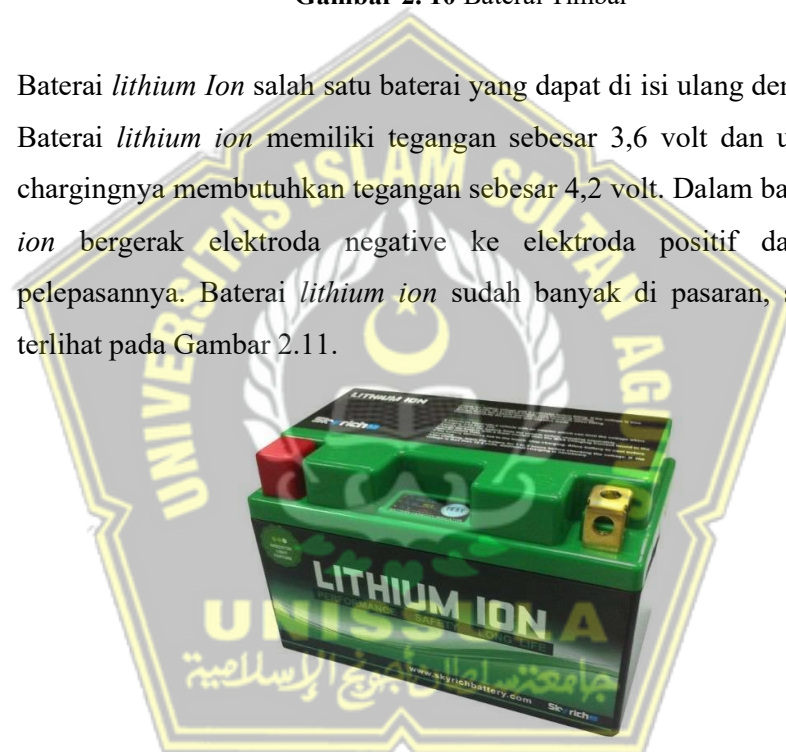
Ada beberapa jenis-jenis baterai, berikut ini beberapa jenis baterai berdasarkan bahan elektrolit yang digunakan.

1. Baterai Timbal merupakan baterai yang lebih murah dibandingkan dengan lainnya, baterai timbal banyak digunakan sebagai sumber listrik cadangan pada Tower BTS, rumah sakit ataupun pembangkit berskala kecil. Tersusun dari sel elektroda dan masing-masing sel bekerja menggunakan elektroda positif yang berasal dari PbO<sub>2</sub> (*lead oxide*) sedangkan untuk elektroda positif berasal dari Pb (*lead*), kebanyakan tegangan pada baterai timbal sebesar 12 terdiri dari 6 sel yang sering dijumpai di pasaran. Baterai jenis ini ditemukan oleh fisikawan Prancis Gaston Plante pada tahun 1859. Gambar 2.10 adalah satu dari sekian banyaknya baterai jenis timbal.



**Gambar 2. 10** Baterai Timbal

2. Baterai *lithium Ion* salah satu baterai yang dapat di isi ulang dengan mudah. Baterai *lithium ion* memiliki tegangan sebesar 3,6 volt dan untuk proses chargingnya membutuhkan tegangan sebesar 4,2 volt. Dalam baterai *lithium ion* bergerak elektroda negative ke elektroda positif dalam proses pelepasannya. Baterai *lithium ion* sudah banyak di pasaran, seperti yang terlihat pada Gambar 2.11.



**Gambar 2. 11** Baterai Li-Ion

3. Baterai *Lithium Polymer* termasuk dalam baterai yang bisa di isi ulang dengan teknologi terbaru. Tetapi kekurangan dari baterai ini jika daya baterai terkuras habis maka akan mengakibatkan kerusakan pada baterai. Jika dilihat dari kelebihan baterai *lithium polymer* ini adalah berat baterai yang ringan serta ramah lingkungan. Salah satu contoh dari baterai *lithium Polymer* diperlihatkan pada Gambar 2.12.



**Gambar 2. 12** Baterai Li-Po

4. Pada dasarnya baterai nikel-cadmium ini memiliki siklus hingga lebih dari 500 siklus. serta memiliki tegangan baterai yang kecil yaitu 1 sel sebesar 1,2 volt. baterai nikel-cadmium sangat *sensitive* terhadap kelebihan pengisian sehingga perlu perhatian khusus dalam pengisian ulang baterai. Tahun 1899 adalah pertama kali baterai jenis ini ditemukan yang kemudian baru diproduksi di tahun 1960an. Gambar 2.13 adalah beberapa contoh dari baterai nikel-cadmium.



**Gambar 2. 13** Baterai Nikel-Cadmium

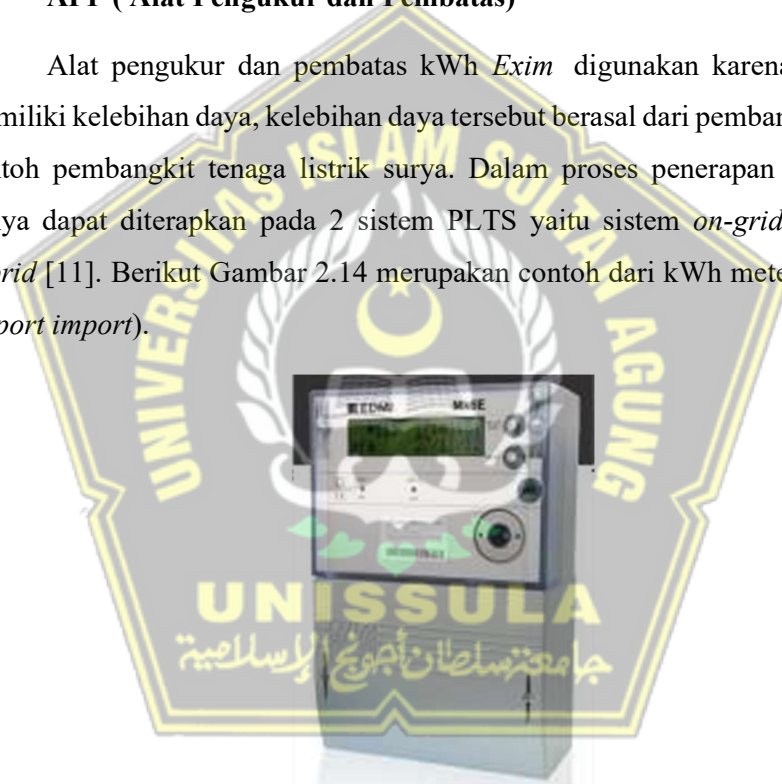
Kelebihan jika memakai baterai adalah kestabilan tegangan dan arus untuk menyuplai *inverter*. Terdapat banyak teknologi yang ada di baterai contohnya dengan menggunakan *ion*, *Zinc air*, *Nicke cadmium* dll. Tetapi yang sering digunakan dalam penggunaan PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) adalah baterai *Lead-acid*, tidak menutup kemungkinan untuk menggunakan baterai dengan jenis *Lithium ion* dan *Zinc air* tetapi disini jenis tersebut di haruskan memakai sistem manajemen baterai agar baterai tersebut bertahan lebih lama [7]. Untuk menentukan kapasitas baterai, persamaan (2.6) sudah dapat mengetahui kapasitas yang dibutuhkan.

$$C = \frac{N}{V_s \times DoD \times \eta} \times EL \dots \dots \dots (2.6)$$

- $C$  = Kapasitas yang dibutuhkan (Ah)  
 $N$  = Hari otonomi  
 $EL$  = Energi yang dibangkitkan (kWh)  
 $V_s$  = Tegangan (V)  
 $DoD$  = Depth of Discharge (%)  
 $\eta$  = Efisiensi baterai x efisiensi inverter (%)

### 2.2.10 APP (Alat Pengukur dan Pembatas)

Alat pengukur dan pembatas kWh *Exim* digunakan karena konsumen memiliki kelebihan daya, kelebihan daya tersebut berasal dari pembangkit pribadi contoh pembangkit tenaga listrik surya. Dalam proses penerapan pada PLTS hanya dapat diterapkan pada 2 sistem PLTS yaitu sistem *on-grid* dan sistem *hybrid* [11]. Berikut Gambar 2.14 merupakan contoh dari kWh meter type *exim* (*export import*).



Gambar 2. 14 APP kWh Exim

### 2.2.11 Genset

Genset (*Generator Set*) merupakan perangkat kombinasi antara pembangkit listrik dengan mesin penggerak yang digabung dalam satu set unit yang berfungsi untuk menghasilkan tenaga listrik. Mesin penggerak pada genset umumnya merupakan mesin pembakaran internal berupa motor atau mesin diesel yang

menggunakan bahan bakar solar dan mesin dengan menggunakan bahan bakar bensin, sedangkan generator merupakan perangkat yang berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Prinsip kerja genset adalah sebuah mesin pembakaran akan mengubah energi bahan bakar menjadi energi mekanik, kemudian energi mekanik tersebut diubah atau dikonversi oleh generator sehingga menghasilkan daya listrik. [5]



Gambar 2. 15 Genset

#### 2.2.12 Break Even Point

Analisis titik impas (break even point) adalah informasi yang digunakan oleh manajemen untuk mendapatkan gambaran tentang tingkat volume penjualan minimum yang harus dicapai agar perusahaan tidak mengalami kerugian ataupun untung. Titik impas sendiri dipengaruhi oleh pendapatan dan biaya. Dengan informasi titik impas, manajer suatu perusahaan dapat mengetahui tingkat penjualan yang diharapkan agar terhindar dari kerugian dan kemudian dapat menentukan langkah – langkah yang tepat untuk periode yang akan datang [12]:

$$BEP = \frac{FC}{P-VC} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

*BEP* : Titik Impas (*Break Even Point*)

*FC* : Biaya Tetap (*Fixed Cost*)

*VC* : Biaya Variabel pe-unit (*Variable cost*)

*P* : Harga Jual Per-unit (*Price*)

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Dalam penerapan PLTS sistem *hybrid*, meskipun investasi awal untuk instalasi PLTS cukup tinggi, biaya operasional dan perawatan yang rendah membuatnya lebih ekonomis dalam jangka panjang. Dengan memiliki sumber listrik mandiri, perusahaan tidak sepenuhnya bergantung pada jaringan listrik umum, mengurangi resiko gangguan produksi akibat pemadaman listrik. Secara keseluruhan, perancangan PLTS sistem *hybrid* pada PT Geomed Indonesia bertujuan agar dapat menentukan potensi penghematan energi dan biaya yang dihasilkan dari penerapan PLTS, yang pada akhirnya mendukung kelangsungan bisnis dan pertumbuhan jangka panjang.

#### 3.2 Objek Penelitian

Objek penelitian yang dilakukan kali ini berada di atap PT Geomed Indonesia yang terletak di Jalan Kawasan Industri Candi Tahap V Kel. Ngaliyan, Kec. Ngaliyan Kota Semarang, Central Java, 50181 Indonesia. Gambar menunjukkan lokasi PT Geomed Indonesia. Letak dari PT. Geomed Indonesia dapat dilihat melalui aplikasi Maps pada Gambar 3.1.



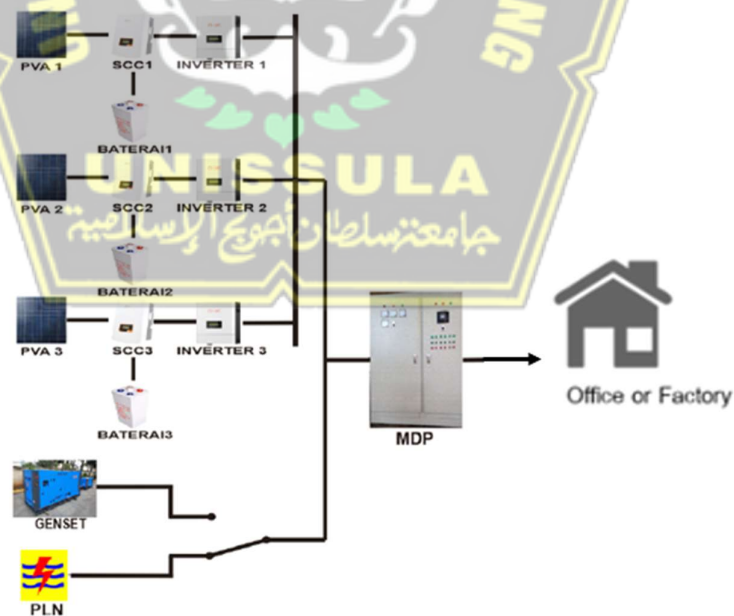
**Gambar 3. 1** Lokasi PT Geomed Indonesia

### 3.3 Alat Dalam Penelitian

Peralatan dalam penyusunan tugas akhir ini menggunakan sebuah handphone Xiaomi Poco M3, sebuah laptop merk ASUS type M409DA dan aplikasi Pvsyst guna menyusun tugas akhir.

### 3.4 Konfigurasi PLTS *Hybrid*

Pada penelitian ini PLTS menggunakan sistem baterai sebagai media penyimpanan energi. Penggunaan baterai pada PLTS memiliki keunggulan yaitu ketika malam hari PLTS tidak mensuplai beban karena tidak ada irradiasi matahari untuk mengatasi hal ini diperlukan baterai sebagai suplai beban saat malam hari. Hal ini akan meningkatkan optimalisasi PLTS dalam memenuhi beban. Rasio pembebanan PLTS 15% dengan dibackup baterai sebagai cadangan energi dan PLN 85% dikarenakan PT PLN (Perusahaan Listrik Negara) membatasi penggunaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) atap hanya 10-15% dari kapasitas listrik terpasang PLN [2]. Pendekatan ini mempertimbangkan kapasitas PLTS dan kebutuhan harian. PLTS dan PLN berkontribusi sesuai dengan kapasitas masing-masing, dengan PLTS mengutamakan penggunaan energi.



**Gambar 3. 2** Konfigurasi PLTS *Hybrid* di PT Geomed Indonesia



### 3.5 Data penelitian

Data penelitian kali ini menggunakan dua data yaitu data primer dan data sekunder. Dimana data primer berupa dari konsumsi rata-rata daya listrik di PT Geomed Indonesia, Lokasi PT Geomed Indonesia sedangkan untuk data sekunder seperti data iradiasi matahari yang didapatkan dari aplikasi Pvsyst.

#### 3.5.1 Data Iradiasi Matahari

Intensitas radiasi matahari merupakan salah satu parameter yang diperlukan untuk mendapat prakiraan produksi energi. Berikut data iradiasi matahari yang didapatkan melalui aplikasi PVsyst dengan titik koordinat lokasi:

Latitude = -7.02 °S

Longitude = 110.35 °E

Altitude = 201 m.

**Tabel 3.1** Rata – rata iradiasi matahari [Sumber: Meteonorm 8.0]

Mount	Daily solar rotation- Horizontal	Temperature
	KWh/m/d	°C
January	4,24	27,1
February	4,88	27
Maret	4,87	27,5
April	5,36	27,6
Mei	5,09	28,4
Juni	5,27	27,7
July	5,30	27,5
August	5,61	27,7
September	5,86	28
October	6,14	28,7
November	5,58	27,9
Desember	5,08	27,4
Annual	5,27	27,7

#### 3.5.2 Data Konsumsi Energi PT. Geomed Indonesia

Data konsumsi energi di PT Geomed Indonesia dapat diambil melalui selisih nilai power meter distribusi, perusahaan PT Geomed Indonesia disuplai PLN dengan daya 1730 KVA berdasarkan data dari perusahaan rata-rata pemakaian dibulan Oktober tahun 2023 ditunjukkan pada tabel berikut.

**Tabel 3. 2** Konsumsi harian energi PT Geomed Indonesia  
 [Sumber: Konsumsi Energi Bulan Oktober 2023 PT Geomed Indonesia]

Tanggal	Power Meter (GWh)	Konsumsi Harian (GWh)
1	2,4229	
2	2,4266	0,0037
3	2,4303	0,004
4	2,4343	0,0039
5	2,4382	0,0039
6	2,4421	0,0038
7	2,4459	0,0006
8	2,4465	0,0007
9	2,4472	0,0038
10	2,451	0,004
11	2,455	0,0039
12	2,4589	0,0039
13	2,4628	0,0038
14	2,4666	0,0007
15	2,4673	0,0007
16	2,468	0,0038
17	2,4718	0,004
18	2,4758	0,0039
19	2,4797	0,0039
20	2,4836	0,0038
21	2,4874	0,0006
22	2,488	0,0006
23	2,4886	0,0037
24	2,4923	0,004
25	2,4963	0,0039
26	2,5002	0,0037
27	2,5039	0,0038
28	2,5077	0,0006
29	2,5083	0,0007
30	2,509	0,0039
31	2,5129	0,004
Total =		0,0903
Rata-rata =		0,00301

### 3.6 Komponen

Pada penelitian ini menggunakan panel surya yang berjenis *monocrystalline* dengan kapasitas daya maksimal 405 Wp. Penggunaan panel dengan jenis *monocrystalline* disebabkan karena tingkat efisiensinya yang lebih baik dan mampu memproduksi energi yang lebih banyak dibandingkan *Pollycrystalline*. Dari estetika panel *monocrystalline* memiliki tampilan yang ramping dan seragam dengan warna hitam. Penggunaan panel surya dengan daya yang besar adalah salah satu cara memaksimalkan lahan dan biaya, semakin besar panel surya maka akan semakin murah harganya. Gambar 3.3 adalah bentuk dari panel surya yang akan digunakan.

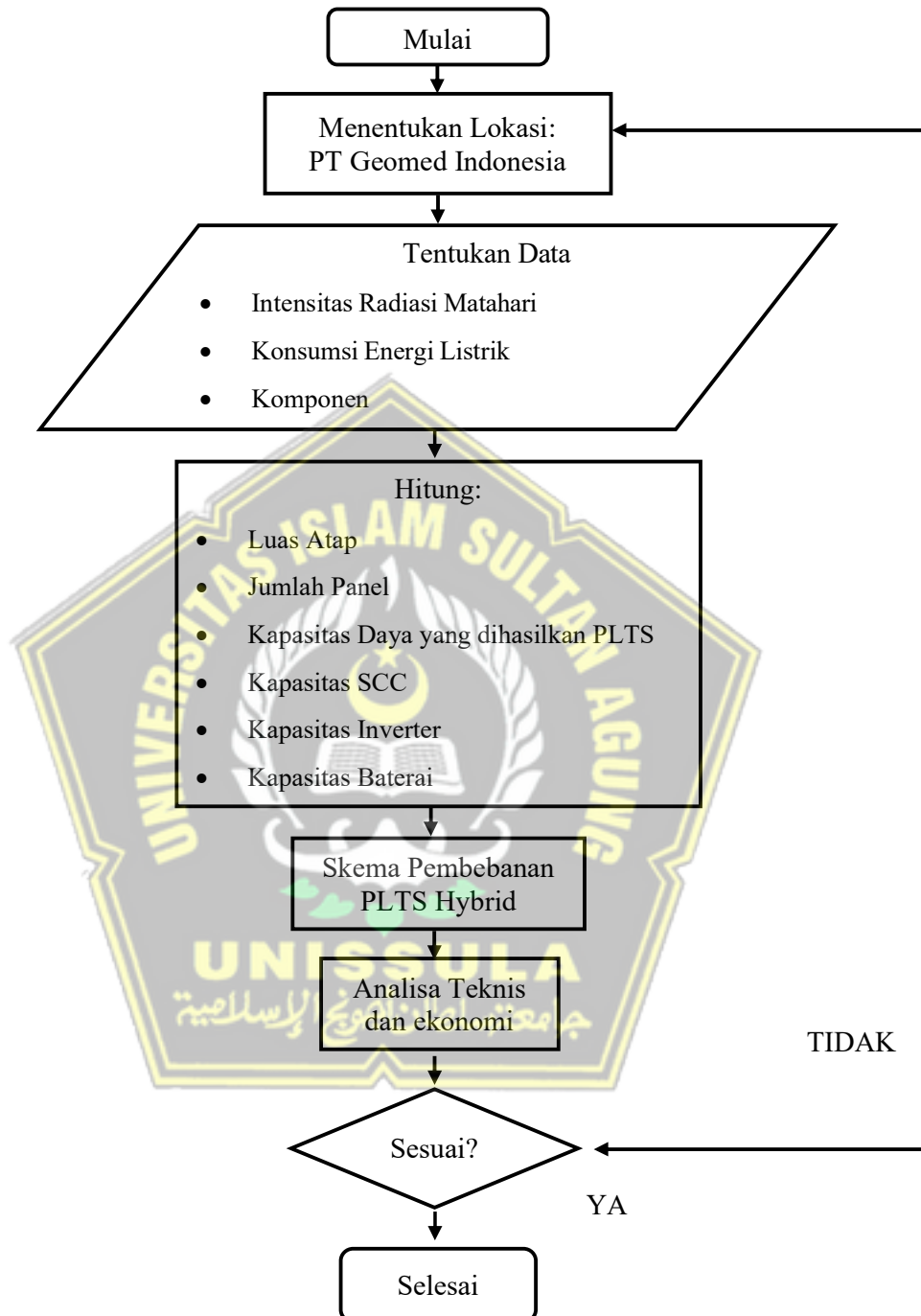


**Gambar 3. 3** Modul Panel Surya Jinko 405 Wp

**Tabel 3. 3** Spesifikasi Modul Panel Surya 405 Wp Jinko Monocrystalline

Type Module	JKM405M-72H-V(STC)
Max. Power (Pmax)	405 Wp
Max. Power Voltage (Vmp)	42.0 Volt
Max. Power Current (Imp)	9.65 A
Open-circuit Current (Voc)	50.1 V
Short-circui Current (Isc)	10.69 A
Efficiency Module STC (%)	20.13 %
Max. System Voltage	1500VDC(IEC)
Max. Series Fuse Rating	20A
Temperature Coefficients of Voc	-0.28%/°C
Temperature Coefficients of Isc	0.048%/°C
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2°C

### 3.7 Diagram Alur Penelitian



Gambar 3.4 Flowcart/diagram Alur Tugas Akhir

### 3.8 Langkah Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan lokasi penelitian, lokasi penelitian pada tugas akhir ini diperusahaan PT Geomed Indonesia
2. Menentukan desain penelitian, desain penelitian yang dibuat untuk penelitian ini adalah gambaran awal perancangan PLTS di PT Geomed Indonesia sesuai dengan gambar 3.1 yaitu gambar desain PLTS.
3. Melakukan pengumpulan data, data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain data data konsumsi energi gedung, data intensitas radiasi matahari, dan harga per komponen .
4. Melakukan perhitungan daya puncak PLTS dari perhitungan jumlah panel surya yang akan digunakan untuk PLTS.
5. Menghitung kapasitas *charger controller* pada PLTS, menghitung kapasitas baterai pada PLTS, dan mengitung kapasitas inverter pada PLTS.
6. Melakukan skenario pembebanan PLTS Hybrid saat kondisi siang maupun malam hari
7. Menghitung biaya perencanaan PLTS atap di PT. Geomed Indonesia.
8. Menghitung titik impas atau *Break Even Point* pada perencanaan PLTS atap di PT. Geomed Indonesia.
9. Melakukan analisa teknis dan ekonomi dari hasil penelitian dan menarik kesimpulan dari analisa penelitian yang sudah dilakukan.

## BAB IV

### HASIL DAN ANALISA

#### 4.1 Luas Atap

Pada penelitian kali ini mempunyai luas atap dengan pembagian 3 bagian yaitu premanufaktur, *Assembling*, dan *quality*. Semua atap digunakan sebagai tempat penempatan panel dikarenakan untuk memaksimalkan daya output panel surya. Maka atap yang ideal cenderung menghadap ke selatan - utara. Perhitungan luas atap diperlukan untuk memastikan bahwa atap dalam menampung semua panel surya cukup atau tidak kurang yang nantinya akan dipasang pada atap PT Geomed Indonesia.



**Gambar 4.1** kemiringan atap gedung PT. Geomed Indonesia

Ukuran lebar pada masing masing gedung bervariasi untuk premanufaktur dan *quality*, memiliki lebar 30 m, dan *Assembling* mempunyai lebar sebesar 36 m. Untuk ukuran tinggi yaitu sama semua sebesar 4 m. Dengan mengacu gambar diatas maka dapat ditentukan panjang kemiringan sebagai berikut :

#### **Premanufaktur**

$$\begin{aligned} \text{Lebar Atap } 30 \text{ m} &= \sqrt{\frac{1}{2} \text{ Lebar Atap}^2 + \text{Tinggi}^2} \\ &= \sqrt{15^2 + 4^2} \\ &= \sqrt{225 + 16} \\ &= \sqrt{241} \\ &= 15,52 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari perhitungan menghasilkan antara sisi kemiringan pada setiap atap sebesar 15,52 m dan jika digabungkan kedua sisi miring menjadi 31,04 m.

***Assembling***

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar Atap } 36 \text{ m} &= \sqrt{\frac{1}{2} \text{ Lebar Atap}^2 + \text{Tinggi}^2} \\
 &= \sqrt{18^2 + 4^2} \\
 &= \sqrt{324 + 16} \\
 &= \sqrt{340} \\
 &= 18,43 \text{ m}
 \end{aligned}$$

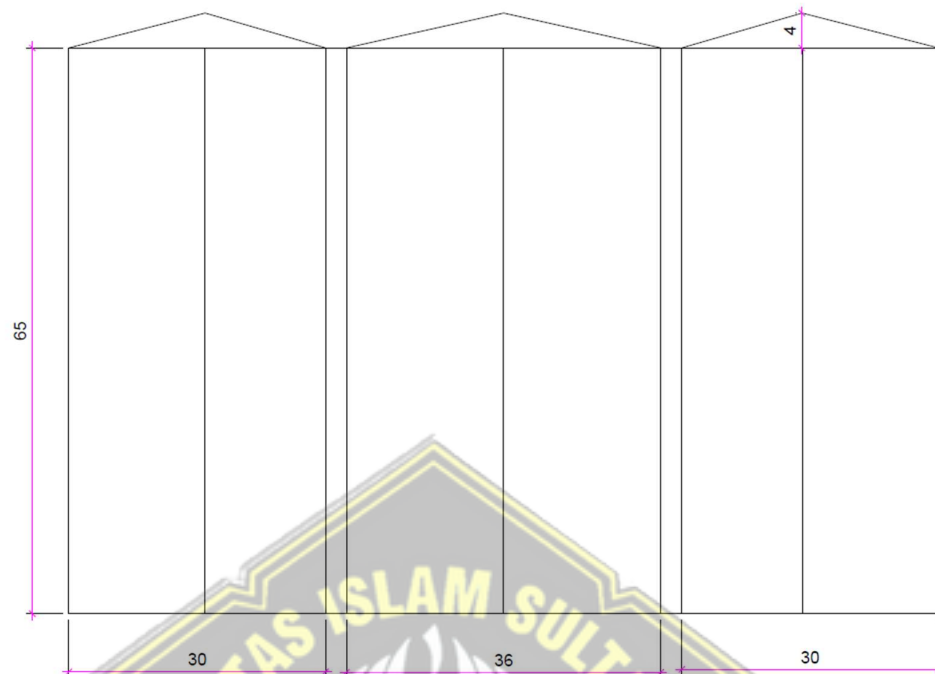
Dari perhitungan menghasilkan antara sisi kemiringan pada setiap atap sebesar 18,43 m dan jika digabungkan kedua sisi miring menjadi 36,86 m.

***Quality***

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar Atap } 30 \text{ m} &= \sqrt{\frac{1}{2} \text{ Lebar Atap}^2 + \text{Tinggi}^2} \\
 &= \sqrt{15^2 + 4^2} \\
 &= \sqrt{225 + 16} \\
 &= \sqrt{241} \\
 &= 15,52 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan mendapatkan hasil antar sisi kemiringan pada setiap atap sebesar 15,52 m dan jika digabungkan kedua sisi miring menjadi 31,04 m.

Jadi untuk kemiringan premanufaktur dan quality yaitu 15,52 m dan kemiringan *assembling* sebesar 18,43 m. Perhitungan kemiringan menentukan lebar atap tampak atas dan juga menentukan jumlah modul surya yang akan dipasang. kemudian dapat menghitung luas setiap atap dengan mengalikan panjangnya dengan sisi miring atau menggantinya dengan lebarnya.



**Gambar 4.2** Ukuran panjang dan lebar atap PT Geomed Indonesia

Jika sudah mengetahui panjang masing-masing gedung maka dapat diketahui luas atap setiap gedungnya, luas atap gedung pada PT Geomed Indonesia dapat diketahui sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Premanufaktur} &= \frac{1}{2} (b_1 + b_2) \times P \\
 &= \frac{1}{2} (15,52 \text{ m} + 15,52 \text{ m}) \times 65 \text{ m} \\
 &= \frac{1}{2} (31,04 \text{ m}) \times 65 \text{ m} \\
 &= 15,52 \text{ m} \times 65 \text{ m} \\
 &= 1.008,8 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Assembling} &= \frac{1}{2} (b_1 + b_2) \times P \\
 &= \frac{1}{2} (18,43 \text{ m} + 18,43 \text{ m}) \times 65 \text{ m} \\
 &= \frac{1}{2} (36,86 \text{ m}) \times 65 \text{ m} \\
 &= 18,43 \text{ m} \times 65 \text{ m} \\
 &= 1.197,9 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
\text{Quality} &= \frac{1}{2} (b_1 + b_2) \times P \\
&= \frac{1}{2} (15,52 \text{ m} + 15,52 \text{ m}) \times 65 \text{ m} \\
&= \frac{1}{2} (31,04 \text{ m}) \times 65 \text{ m} \\
&= 15,52 \text{ m} \times 65 \text{ m} \\
&= 1.008,8 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

Setiap atap memiliki dua sisi, jadi berdasarkan hasil perhitungan di atas dapat menghasilkan luas secara utuh dikalikan dua. Untuk luas Premanufaktur menjadi  $2017,6 \text{ m}^2$ , luas atap Assembling menjadi sebesar  $2395,8 \text{ m}^2$ , untuk Quality luas atap menjadi sebesar  $2017,6 \text{ m}^2$ . Jadi luas semua pada atap PT. Geomed Indonesia yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\text{Luas Atap} &= 2017,6 \text{ m}^2 + 2395,8 \text{ m}^2 + 2017,6 \text{ m}^2 \\
&= 6431 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

#### 4.2 Jumlah Panel

Berdasarkan Regulasi, PT PLN (Perusahaan Listrik Negara) membatasi penggunaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) atap hanya 10-15% dari kapasitas listrik terpasang PLN. Daya yang terpasang pada PT. Geomed Indonesia sendiri mempunyai daya sebesar 1730 kVA. Kapasitas yang akan dibangkitkan yaitu sebesar 15 % dari rata-rata konsumsi setiap harinya dibulan oktober adalah sebesar  $3010 \text{ kWh}$ .

$$EL = 15 \% \times \text{Pemakaian rata - rata energi Listrik}$$

$$EL = 15 \% \times 3010 \text{ kWh}$$

$$EL = 451,5 \text{ kWh}$$

Pengaruhnya suhu mempengaruhi keluaran dari setiap panel surya maka dari itu perlu mengetahui dengan melihat rata-rata intensitas matahari dengan mencari daya maksimal jika menggunkan panel dengan ukuran daya maksimal 405 Wp. Setiap kenaikan suhu pada panel surya  $1^\circ\text{C}$  lebih dari  $25^\circ\text{C}$  akan mengalami penurunan daya sebesar 0,5%, Temperatur tertinggi terjadi pada bulan oktober yaitu  $28,7^\circ\text{C}$ , maka kenaikan suhu menjadi  $3,7^\circ\text{C}$ .

maka dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$P \text{ saat } \Delta t = 0,013\% \times P_{Mpp} \times \text{Kenaikan suhu } (^{\circ}\text{C})$$

$$\begin{aligned} P \text{ saat } 28,7^{\circ}\text{C} &= 0,013 \% \times 405 \text{ Watt} \times 3,7^{\circ}\text{C} \\ &= 0,0255 \times 405 \\ &= 0,194 \text{ Watt} \end{aligned}$$

meningkatnya suhu di PT Geomed Indonesia mempengaruhi output dan kinerja dari panel surya, dengan mengetahui  $\Delta t$  maka dapat mengetahui output maksimal ketika menggunakan panel surya dengan kapasitas daya maksimal 405 Wp.

$$\begin{aligned} P \text{ max t` } &= 405 - 0,194 \\ &= 404,8 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Faktor koreksi temperatue (FKT) sebgai berikut :

$$\begin{aligned} \text{FKT} &= \frac{P \text{ max t` }}{P \text{ max}} \\ &= \frac{404,8}{405} \\ &= 0,99 \% \end{aligned}$$

Luas *array* pada atap PT. Geomed Indonesia yang apabila dipasang panel surya dipengaruhi oleh berbagai faktor dari efisiensi panel sebesar 20,13%, efisiensi *inverter* + *Solar Charger Controller* sebesar 95%, faktor koreksi 98%, rata-rata intensitas radiasi sebesar 5,27 kWh/m<sup>2</sup>/hari, dan energi yang akan di bangkitkan.

$$\begin{aligned} \text{Luas Array} &= \frac{EL}{Gav \times n \text{ PV} \times n \text{ out} \times \text{FKT}} \\ &= \frac{451,5}{5,27 \times 20,13 \% \times 0,95 \times 0,98} \\ &= \frac{451,5}{0,99} \\ &= 456,06 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan dengan diketahuinya luas *array* sebesar 456,06 m<sup>2</sup> dan efisiensi pada panel sebesar 20,13%, maka dapat mengetahui daya maksim yang

bisa dibangkitkan dengan Peak sun Indonesia sebesar  $1000 \text{ W/ m}^2$ . Dengan menggunakan persamaan (2.1) daya maksimal yang bisa dihasilkan dapat diketahui sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P_{\text{wattpeak}} &= \text{Luas Array} \times \text{PSI} \times \eta_{\text{PV}} \\ &= 456,06 \text{ m}^2 \times 1000 \times 0,2013 \\ &= 91.805 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan mendapatkan kapasitas modul maksimalnya sebesar 91.805 Wp maka dapat diketahui jumlah panel yang digunakan dengan kapasitas panel 405 Wp. Mencari jumlah panel yang bisa di pasang dengan menggunakan persamaan (2.3).

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Panel} &= \frac{P_{\text{wattpeak}}}{P_{\text{max}}} \\ &= \frac{91.805}{405} \\ &= 226 \text{ panel surya dibulatkan menjadi } 234 \text{ panel surya} \end{aligned}$$

Kebutuhan energi listrik PT Geomed Indonesia saat ini dipenuhi oleh PLN melalui jaringan tiga fasa berkapasitas daya pelanggan 1730 kVA sehingga memerlukan keseimbangan antara pemanfaatan peralatan dan beban. Namun, membagi 226 panel surya menjadi 3 susunan akan menjadi tidak seimbang, jadi perlu ditambahkan 5 panel surya menjadi 234 panel surya. Modul surya dibagi menjadi tiga susunan dengan masing-masing 78 modul surya. supaya mendapatkan tegangan besar, maka panel surya harus dikombinasikan dengan dirangkai secara seri dan paralel. Kemudian mencari daya maksimal PLTS dengan panel surya sebanyak 234 buah dapat diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{\text{Wattpeak}} &= P_{\text{max}} \times \text{Jumlah panel surya} \\ &= 405 \times 234 \\ &= 94.770 \text{ Wp} \end{aligned}$$

Untuk  $P_{\text{wattpeak}}$  sebesar 94.770 Wp maka luas area *array* sebagai berikut.

$$L_{\text{area Array}} = \frac{P_{\text{wattpeak}}}{\text{PSI} \times \eta_{\text{pv}}}$$

$$= \frac{91.805}{1000 \times 0,2013}$$

$$= 456,06 \text{ m}^2$$

Dari hasil perhitungan dapat diketahui jumlah panel surya yang akan dipasang. maka dari itu, dihitung berapa total luas modul yang akan digunakan untuk penempatannya, kemudian menghitung luas area panel yang akan digunakan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \text{Panjang total panel} &= \text{Panjang modul} \times \text{Seri} \\ &= 2008 \text{ mm} \times 6 \text{ seri} \\ &= 12.048 \text{ mm} = 12 \text{ m} \end{aligned}$$

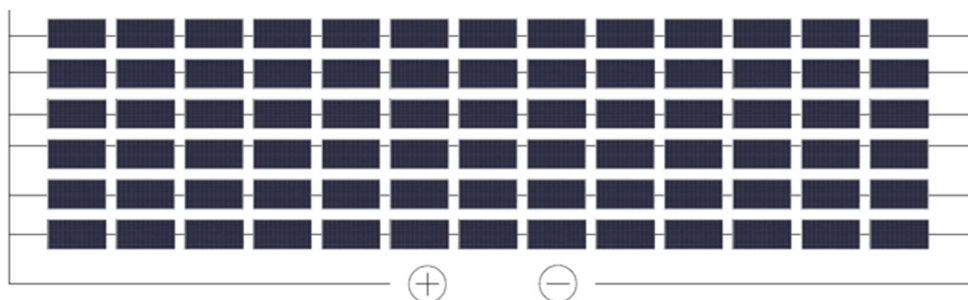
$$\begin{aligned} \text{Lebar total panel} &= \text{Lebar modul} \times \text{Paralel} \\ &= 1001 \text{ mm} \times 13 \text{ Paralel} \\ &= 13.013 \text{ mm} = 13 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas area panel} &= \text{Panjang total modul} \times \text{Lebar total modul} \\ &= 12 \text{ m} \times 13 \text{ m} \\ &= 156 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

dikarenakan menggunakan 3 *array* maka  
 $= 156 \times 3 = 468 \text{ m}^2$ .

#### 4.3 Penyusunan *Array* Panel Surya

Pada Saat perancangan pembangkit listrik tenaga surya perlu menyusun *array* panel surya supaya dapat menentukan tegangan operasinal dan tidak melebihi kapasitas atap PT Geomed Indonesia. Berikut pemasangan susunan secara seri dan paralel panel surya yang akan mendapatkan tegangan, arus dan daya.



Gambar 4. 3 Penyusunan *array*

Berdasarkan gambar diatas setiap *array* PLTS pada PT Geomed Indonesia terdapat 234 pcs panel surya. Masing-masing *array* menghasilkan  $V_{mpp}$  dan  $I_{mpp}$  sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_{mpp \text{ array}} &= V_{mp} \times \text{Jumlah seri} \\ &= 42 \text{ volt} \times 6 \\ &= 256 \text{ Volt} \end{aligned}$$

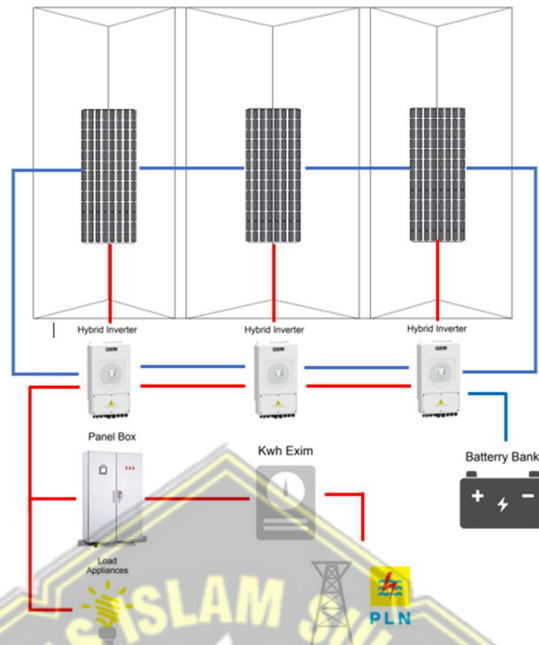
$$\begin{aligned} I_{mpp \text{ array}} &= I_{mp} \times \text{Jumlah Paralel} \\ &= 9,65 \text{ A} \times 13 \\ &= 125,45 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{mpp \text{ array}} &= V_{mpp} \times I_{mpp} \\ &= 256 \text{ volt} \times 125,45 \text{ Ampere} \\ &= 32.115,2 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan *array* yang terpasang pada PT Geomed Indonesia sebanyak 3 *array* dimana setiap *array* memiliki tegangan maksimal sebesar 256 Volt serta arus maksimal sebesar 125,45 Ampere, sehingga mendapatkan hasil daya sebesar 32.115,2 Watt. Total daya penbangkit listrik tenaga surya yang akan dibangkitkan yaitu  $32.115,2 \times 3 \text{ array} = 96.345,6 \text{ Wattpeak}$  atau 96,34 kWp.

#### 4.4 Penempatan *Array* Pada *Rooftop*

Pemasangan *Array* Pada *Rooftop* PT Geomed Indonesia terdapat total 78 panel surya, dimana pada masing-masing gedung terpasang panel yang dirangkai secara 6 seri dan 13 paralel, masing-masing panel memiliki daya maksimal 405 Wp. Dengan menggunakan komponen pendukung berupa 3 inverter dengan sesuai kapasitasnya dimana inverter harus dipilih sesuai dengan kapasitas daya yang akan disalurkan agar inverter bekerja seefisien mungkin. Terdapat baterai sebagai cadangan jika panel surya tidak menghasilkan energi, dan terhubung dengan PLN ketika baterai dan panel surya tidak memiliki energi, setelah itu, pendistribusian listrik akan di sesuaikan jalurnya oleh panel distribusi, di antara panel distribusi keluarannya akan menuju ke alat meteran exim yang fungsinya mensinkronisasikan ke beban dan ke jaringan listrik PLN.



**Gambar 4. 4** Penempatan *Array* Pada *Rooftop*

#### 4.5 Menghitung energi yang dihasilkan PLTS *rooftop*

Produksi energi panel surya dipengaruhi oleh data intensitas matahari. Saat merencanakan PLTS *Rooftop*, rata rata intensitas radiasi matahari digunakan adalah 5,27 kWh/m<sup>2</sup>/hari. Nilai energi PLTS dalam satu hari dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 E_{out} &= \text{Luas total Array} \times G_{av} \times PSI \times \eta_{PV} \\
 &= 468 \text{ m}^2 \times 5,27 \times 1000 \times 0,2013 \\
 &= 496.478 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Jadi selama 1 tahun energi yang dihasilkan sebesar :

$$\begin{aligned}
 AkWh &= E_{out} \times 365 \\
 &= 496.478 \times 365 \\
 &= 181.214.470 \\
 &= 181.215 \text{ KWh / pertahun}
 \end{aligned}$$

#### 4.6 Menentukan kapasitas Solar Charger Controller

Dari hasil perhitungan daya dan tegangan masing-masing *array*, kemudian dapat menentukan SCC (*solar charger controller*) dengan menggunakan *safety factor* yang telah ditentukan yaitu 1,25. Persamaan (2.4) merupakan cara untuk menentukan kapasitas *solar charger controller* sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Capacity of charger controller} &= \frac{\text{Demand Watt} \times \text{Safety Factor}}{\text{System Voltage}} \\ &= \frac{P_{mpp} \text{ Array} \times \text{Safety Factor}}{V_{mpp} \text{ Array}} \\ &= \frac{32.115,2 \times 1,25}{256} \\ &= 156,8 \text{ A} \end{aligned}$$

#### 4.7 Menentukan kapasitas Inverter

Inverter merupakan komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC sesuai dengan tegangan jaringan PLN. Untuk memastikan inverter beroperasi seefisien mungkin, pemilihannya harus sesuai dengan kapasitas daya yang akan didistribusikan. Jika daya yang dihasilkan PLTS sebesar 32.115,2 watt, maka setiap rangkaianannya memerlukan inverter yang dapat bervariasi sesuai tegangan PLN.

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Inverter} &= P_{mpp} \times \text{safety factor} \\ &= 32.115,2 \times 1,25 \\ &= 40.144 \text{ Watt} \\ &= 40,14 \text{ kW} \end{aligned}$$

Tabel 4. 1 Speksifikasi Inverter

Type Module	SUN-40K-SG01HP3 -EU-BM4
Battery Voltage Range (V)	<b>160-800 V</b>
Rated Charging (A)	<b>100 A</b>
Rated Discharging (A)	<b>100 A</b>
Max. PV Input Power (W)	<b>52 W</b>
Max. PV Input Voltage (V)	<b>1000 V</b>
Max. Operating PV Input Current (A)	<b>144 A</b>
Max. Input Short-Circuit Current (A)	<b>220 A</b>

Dengan diketahui hasil dari perhitungan kapasitas *Solar charger controller* dan kapasitas *inverter* masing-masing sebesar 156,8 Ampere untuk SCC (*Solar charger controller*) dan 40,14 kW untuk *inverter* maka dapat disimpulkan untuk penggunaan *inverter hybrid* memakai sistem 40 kW dengan maksimal tegangan input PV sebesar 1000 Volt, arus *array* sebesar 144 Ampere dan maksimal daya input sebesar 52 kW. Untuk keluaran inverter 40 kW keluaran tegangan sebesar 400 Volt dan arus maksimal 83,3 Ampere. Sistem baterai yang disarankan dalam *datasheet* deye 40 kW yaitu tegangan baterai sebesar 160 – 800 volt dan setting arus maksimal sebesar 100 Ampere.

#### 4.8 Menentukan Kapasitas Baterai

Baterai akan berfungsi sebagai cadangan energi dan disalurkan secara penuh saat malam hari. Pada saat siang hari baterai dalam kondisi (*charging*). baterai yang akan digunakan menggunakan merk Baterai ICAL Power 12volt 200 Ah. Pada perencanaan ini hari otonomi selama 2 hari. Energi listrik yang akan dibangkitkan dengan rata-rata konsumsi harian 451,5 kWh dengan sistem tegangan baterai sebesar 256 volt dengan DOD baterai sebesar 80% dan efisiensi baterai 95% maka kapasitas baterai yang akan terpasang pada PT Geomed Indonesia dapat dihitung dengan persamaan (2.6) :

$N = 2$ ,  $V_s = 256$  Volt,  $EL = 451.500$  Wh ,  $DOD = 0,8$  , Efisien Baterai = 0,95

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{N}{V_s \times DoD \times \eta} \times EL \\
 &= \frac{2}{256v \times 0,8 \times 0,95} \times 451.500 \text{ Wh} \\
 &= \frac{2}{194,56} \times 451.500 \text{ Wh} \\
 &= \frac{903.000}{194,56} \\
 &= 4.641,24 \text{ Ah}
 \end{aligned}$$

Baterai yang diperlukan dalam perencanaan PLTS *hybrid* di PT Geomed Indonesia sebesar 4.641,24 Ah atau dibulatkan sebesar 4650 Ah. Penggunaan



Baterai menggunakan baterai jenis VRLA dengan tegangan 12 volt dan kapasitas 200 Ah, dapat diketahui banyaknya baterai yang dirangkai secara seri dan *parallel* untuk mendapatkan tegangan sebesar 256 volt dan kapasitas 4650 Ah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Baterai parallel} &= \frac{\text{Kapasitas yang dibutuhkan}}{\text{kapasitas Baterai}} \\ &= \frac{4650}{200} \\ &= 23,25 \text{ dibulatkan menjadi 24 paralel} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk menentukan tegangan baterai, penyusunan baterai harus dipasang secara seri agar tegangan baterai bertambah:

$$\begin{aligned} \text{Baterai seri} &= \frac{\text{sistem tegangan baterai}}{\text{tegangan baterai}} \\ &= \frac{256}{12} \\ &= 21,3 \text{ dibulatkan menjadi 22 Seri} \\ \text{Jumlah baterai} &= \text{Baterai parallel} \times \text{Baterai seri} \\ &= 24 \times 22 \\ &= 528 \text{ Buah} \end{aligned}$$

Daya yang diperlukan untuk proses Charging baterai 256 volt kapasitas 4650 Ah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} W &= \text{Ah} \times V \times \text{Efisien Baterai} \\ &= 4650 \text{ Ah} \times 256 \text{ V} \times 0,95 \\ &= 1.074.336 \text{ W} \end{aligned}$$

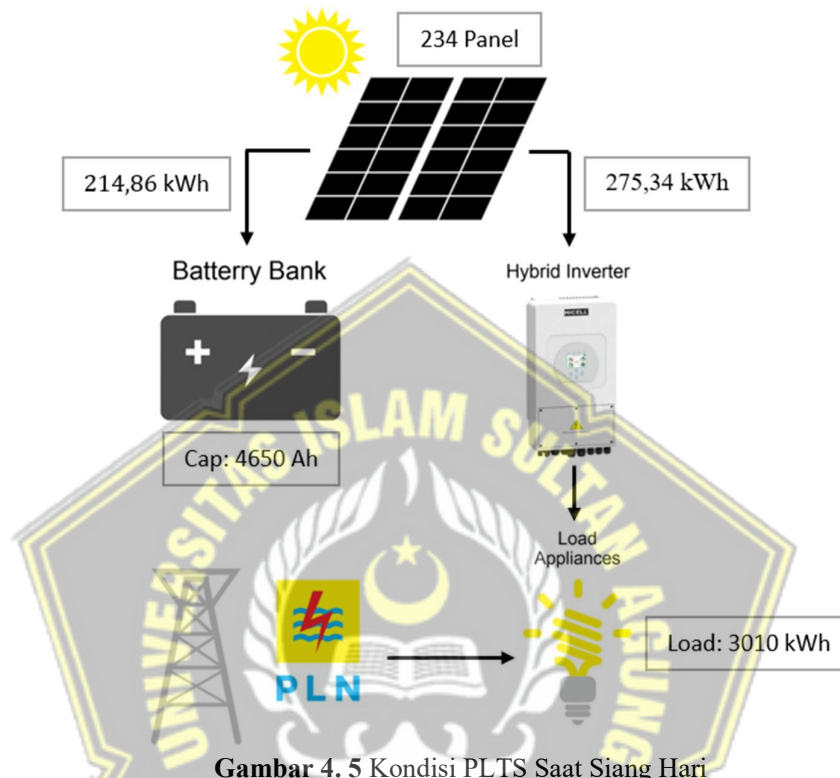
Pada perencanaan ini ingin baterai terisi penuh dengan waktu pengisian 5 jam, dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Watt untuk Panel} &= \frac{\text{Total Watt (W)}}{\text{Waktu Pengisian}} \\ &= \frac{1.074.336}{5} \\ &= 214.867 \text{ Wh} \end{aligned}$$

## 4.9 Pembebanan PLTS Hybrid

### 4.9.1 Skenario Pembebanan Saat Siang Hari

Skenario Pembebanan PLTS *Hybrid* kondisi saat siang hari ditunjukkan pada gambar 4.6

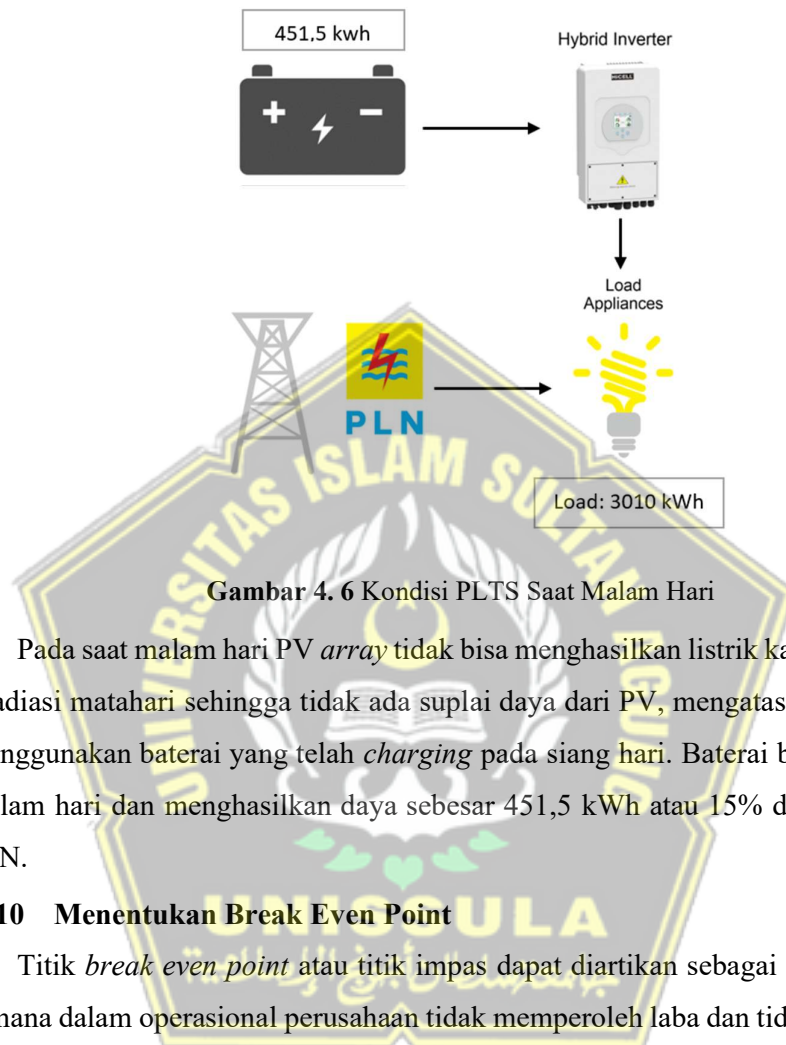


Gambar 4. 5 Kondisi PLTS Saat Siang Hari

Skenario dirancang untuk mengetahui berapa banyaknya daya yang mampu disuplai oleh PLTS sehingga mampu mengurangi suplai daya yang berasal dari Grid PLN. Berdasarkan gambar diatas diketahui bahwa kebutuhan daya PT Geomed Indonesia 3010 kWh. setiap PV array menghasilkan 405 Wp sehingga PLTS mampu menghasilkan energi sebesar 496,5 kWh , energi dihasilkan oleh PV digunakan mensuplai beban 281,14 kWh dan 214,86 kWh untuk *charging* Baterai. Proses *charging* dengan kapasitas 4650 Ah berlangsung selama 5 jam setiap hari pada saat siang hari mulai pukul 11.00-16.00 WIB. Ketika siang hari, PLTS akan mensuplai 281,14 kWh atau 9,34% dari suplai PLN.

#### 4.9.2 Skenario Pembebanan Saat Malam Hari

Skenario Pembebanan PLTS *Hybrid* kondisi saat malam hari ditunjukkan pada gambar 4.7



**Gambar 4. 6** Kondisi PLTS Saat Malam Hari

Pada saat malam hari PV *array* tidak bisa menghasilkan listrik karena tidak ada irradiasi matahari sehingga tidak ada suplai daya dari PV, mengatasi hal ini PLTS menggunakan baterai yang telah *charging* pada siang hari. Baterai beroperasi saat malam hari dan menghasilkan daya sebesar 451,5 kWh atau 15% dari suplai dari PLN.

#### 4.10 Menentukan Break Even Point

Titik *break even point* atau titik impas dapat diartikan sebagai suatu keadaan dimana dalam operasional perusahaan tidak memperoleh laba dan tidak mengalami rugi atau total penghasilan sama dengan total biaya. Untuk dapat menentukan *Break even point* dalam penelitian ini maka yang harus diperhatikan yaitu harus mengetahui energi listrik terpakai dalam setiap hari, dan mengetahui berapa biaya perencanaan PLTS terpasang yang sesuai dengan kapasitas yang diperlukan. Setelah keduanya diketahui maka baru bisa dihitung *break even point*. [13]

**Tabel 4. 2** Biaya Perencanaan PLTS

No.	Nama Item	Qty	Satuan	Harga	Jumlah harga
1	Modul PV Jinko JKM405M-72H-V	234	Pcs	Rp. 2.500.000	Rp. 585.000.000
2	MPPT + Inverter Hybrid Deye 40kW	3	Pcs	Rp. 62.400.000	Rp. 187.200.000
3	Baterrai ICAL Power 12volt 200 Ah	528	Pcs	Rp. 3.990.000	Rp. 2.106.720.000
4	Kabel NYN 2x6mm	500	Meter	Rp. 35.000	Rp. 17.500.000
Total					Rp. 2.896.420.000

Untuk biaya Operasional & perawatan atau *Maintenance* berdasarkan sumber dari Laboratorium Energi Terbarukan Nasional (NREL) sebesar 1% sampai 2% dari biaya investasi. [14]

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya O \& M} &= 1\% \times \text{Total Investasi} \\
 &= 1\% \times \text{Rp } 2.896.420.000 \\
 &= \text{Rp } 28.964.200
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk pendapatan pertahun dengan rata-rata pancaran sinar matahari 5,27 kWh/m/d. Pendapatan energi di PT.Geomed Indonesia dengan total energi yang dihasilkan PLTS selama setahun 267.296,6 kWh mendapatkan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya Per kWh} &= \frac{\text{Biaya Investasi}}{\text{Energi yang dihasilkan}} \\
 &= \frac{\text{Rp } 2.896.420.000}{267.296,6 \text{ kWh}} \\
 &= \text{Rp } 10.831,23
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pendapatan /tahun} &= \text{kWh} \times \text{Harga Per kWh} \\
 &= 267.413,6 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1.035,78 \\
 &= \text{Rp } 276.981.659
 \end{aligned}$$

Maka didapatkan nilai *Break Event Point* sebagai berikut :

$$BEP = \frac{FC}{P-VC}$$

$$BEP = \frac{\text{Biaya Investasi}}{\text{Pendapatan}-\text{Biaya O\&M}}$$

$$BEP = \frac{\text{Rp.2.896.420.000}}{\text{Rp 276.981.659}-\text{Rp 28.964.200}} \quad BEP = \frac{\text{Rp.2.896.420.000}}{\text{Rp248.017.459}}$$

$$= 11,67 \text{ tahun} / 11 \text{ Tahun 8 Bulan}$$

Biaya investasi pemasangan PLTS *Hybrid* pada PT Geomed Indonesia dengan biaya Rp. 2.896.420.000, pendapatan pertahun Rp 276.981.659 serta biaya operasional dan *maintenance* sebesar Rp 28.964.200 waktu titik impas atau *break even point* yaitu pada tahun ke 11 bulan ke 8, setelah itu baru akan mendapatkan keuntungan.



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian perencanaan pembangkit listrik tenaga surya *Hybrid* di PT Geomed Indonesia dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Salah satu strategi untuk menghadapi tantangan dalam hal pasokan energi yang berkelanjutan adalah dengan menggunakan energi baru terbarukan yaitu menerapkan PLTS *Rooftop* dengan sistem *Hybrid*. Dari hasil perhitungan mendapatkan kapasitas daya PLTS sebesar 94,77 kWp dengan total 234 panel surya, setiap panel memiliki 405 Wp, dengan 3 *array*. Setiap atap memiliki 78 panel yang terdiri dari 6 panel dihubungkan secara seri dan 13 panel dihubungkan secara paralel.
2. Dari perhitungan dapat diketahui biaya Pemasangan PLTS *Rooftop* sistem *Hybrid* di PT geomed indonesia diperlukan biaya sebesar Rp. 2.896.420.000.
3. Berdasarkan hasil perhitungan, Biaya investasi sebesar Rp. 2.896.420.000, Biaya Per kWh Rp 10.831,23, Pendapatan Pertahun Rp 276.981.659 serta Biaya Operasional dan *Maintenance* sebesar Rp 28.964.200, Waktu *Break Even Point* atau titik impas yaitu 11 tahun 8 bulan.

#### **5.2 Saran**

1. Penelitian selanjutnya dapat dimaksimalkan lagi ketersediaan atap agar menambah kapasitas daya yang dibangun.
2. Perawatan modul surya perlu dimaksimalkan, agar efektifitas modul surya tetap terjaga.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Agung, “Konsumsi Listrik Nasional Naik 8,4 Persen di Kuartal I 2022.”
- [2] Marlisty, “Kenali Aturan Penggunaan PLTS Atap Demi Kebutuhan Energi Terbarukan,” 2023.
- [3] D. Fuaddin and A. Daud, “Rancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid Kapasitas 20 kWp untuk Residensial,” *J. Tek. Energi*, vol. 10, no. 1, pp. 53–57, 2021, doi: 10.35313/energi.v10i1.2329.
- [4] A. M. Ariawan and N. Sinaga, “PERENCANAAN PEMBANGUNAN PLTS HYBRID DI PONDOK PESANTREN AL-ANWAR 4 SERANG, KABUPATEN REMBANG, PROVINSI JAWA TENGAH,” *J. Sains dan Teknol. Reaksi*, vol. 19, no. 01, Jun. 2021, doi: 10.30811/jstr.v19i01.2261.
- [5] S. Sanjaya, *STUDI SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA HYBRID PADA GEDUNG M UNIVERSITAS SEMARANG FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SEMARANG*. 2023.
- [6] Z. Nasution, “Modul Teknis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat Bagi Patriot Energi,” 2016.
- [7] B. . M. S. ing. Ramadhani, “Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don’ts,” 2018.
- [8] S. N. Hutagalung and M. Panjaitan, “Prototype Rangkaian Inverter Dc Ke AC 900 Watt,” *J. Pelita Inform.*, vol. 6, no. 1, p. 64, 2017.
- [9] S. Sukmajati and M. Hafidz, “PERANCANGAN DAN ANALISIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA KAPASITAS 10 MW ON GRID DI YOGYAKARTA,” *ENERGI & KELISTRIKAN*, vol. 7, no. 1 SE-Articles, pp. 49–63, Aug. 2015, doi: 10.33322/energi.v7i1.582.
- [10] U. S. Saksena RT, Nugroho D, “Analisa Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Gedung Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung,” *Konf. Ilm. Mhs. Unissula 2*, pp. 396–404, 2019.

- [11] Emilia Roza and Mohammad Mujirudin, “Perancangan pembangkit Tenaga Surya Fakultas Teknik UHAMKA,” *Ejournal Kaji. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 16–30, 2019.
- [12] F. R. A. Farwahnisa, “Analisis Break Even Point Sebagai Alat Perencanaan Laba Pada Pabrik mini pengolahan HIGH FREE FATTY ACID CRUDE PALM OIL BANGKA BELITUNG TAHUN 2022.” 2022.
- [13] F. Hidayat, “Analisis Break Even Point (BEP) Pompa Listrik Tenaga Modul Surya.” 2020.
- [14] S. P. Alliance SuNLaMP O and M. Working Group, “Best Practices in Photovoltaic System Operations and Maintenance 2 nd Edition NREL/Sandia/Sunspec Alliance SuNLaMP PV O&M Working Group,” no. December, p. 128, 2016, [Online]. Available: <https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/67553.pdf>

