

**ANALISIS PENENTUAN KAPASITAS PEMBANGKIT LISRIK  
TENAGA SURYA ON GRID SEBAGAI ENERGI CADANGAN  
PADA GEDUNG SERVER KANTOR BUPATI  
LABUHAN BATU**

**TESIS**

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Magister Teknik (M.T)  
Dalam Bidang Ilmu Teknik Elektro*

Oleh :

**IRHAM MANGAMAR SIREGAR**

**NPM : 2020080006**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2022**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**ANALISIS PENENTUAN KAPASITAS PEMBANGKIT LISRIK  
TENAGA SURYA ON GRID SEBAGAI ENERGI CADANGAN  
PADA GEDUNG SERVER KANTOR BUPATI  
LABUHAN BATU**

**TESIS**

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Magister Teknik  
Dalam Bidang Teknik Elektro*

**Oleh :**

**IRHAM MANGAMAR SIREGAR**  
**2020080006**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2022**

## PENGESAHAN PEMBIMBING

Nama : Irham Mangamar Siregar  
NPM : 2020080006  
Prodi/Konsentrasi : Magister Teknik Elektro/Managemen Energi Listrik  
Judul Thesis : Analisis Penentuan Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya  
On Grid Sebagai Energi Cadangan Pada Gedung Server Kantor  
Bupati Labuhan Batu

Pengesahan Tesis

Medan, 7 Agustus 2023

Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Assoc. Prof. Dr. M Fitra Zambak, M.Sc

Rohana, S.T, M.T

Diketahui :

Direktur

Ketua Program Studi

Prof. Dr. Triono Eddy, S.H, M.Hum

Assoc. Prof. Dr. Ir. Suwarno. M.T

UMSU  
Unggul | Cerdas | Terpercaya

## PENGESAHAN

### ANALISIS PENENTUAN KAPASITAS PEMBANGKIT LISRIK TENAGA SURYA ON GRID SEBAGAI ENERGI CADANGAN PADA GEDUNG SERVER KANTOR BUPATI LABUHAN BATU

“Tesis ini Telah Dipertahankan Dihadapan Panitia Penguji”

Yang Dibentuk Oleh Magister Teknik Elektro PPs. UMSU dan Dinyatakan Lulus  
Dalam Ujian,

Pada Hari Kamis, 16 Maret 2023

#### PANITIA PENGUJI

1. Assoc. Prof. Dr. Ir. Suwarno, M.T 1.   
Ketua
2. Dr. Josef Hadi Pramana, M.Sc 2.   
Sekretaris
3. Ir. Surya Hardi, M.Sc., Ph.D 3.   
Anggota

**UMSU**  
Unggul | Cerdas | Terpercaya

## PERNYATAAN

### **PENENTUAN KAPASITAS PLTS *ON GRID* SEBAGAI ENERGI CADANGAN PADA GEDUNGSERVER KANTOR BUPATI LABUHAN BATU**

Dengan ini peneliti menyatakan bahwa:

1. Tesis ini disusun sebagai syarat untuk memperoleh Gelar Magister Pada Program Magister Ilmu Komunikasi Program Pasca Sarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara merupakan hasil karya peneliti sendiri.
2. Tesis ini adalah asli belum pernah diajukan untuk mendapatkan Gelar Akademik (Sarjana, Magister, dan/atau Doktor), baik di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara maupun di perguruan lain.
3. Tesis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Komite Pembimbing dan masukan Tim Penguji
4. Dalam Karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya. Apabila di kemudian hari ternyata ditemukan seluruh atau sebagian tesis ini bukan hasil karya peneliti sendiri atau adanya plagiat dalam bagian-bagian tertentu, peneliti bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang peneliti sandang dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku.

Medan, 28 November 2022

Penulis



**IRHAM MANGAMAR SIREGAR**  
**NPM : 2020080006**

**ANALISIS PENENTUAN KAPASITAS PEMBANGKIT LISRIK TENAGA  
SURYA ON GRID SEBAGAI ENERGI CADANGAN  
PADA GEDUNG SERVER KANTOR BUPATI LABUHAN BATU**

**IRHAM MANGAMAR SIREGAR  
2020080006**

**ABSTRAK**

Dalam penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) tentu saja kita harus memperhatikan beberapa faktor salah satunya adalah lokasi tempat pemasangan PLTS dan beban yang akan ditanggung PLTS tersebut. Dengan melihat potensi matahari di Indonesia seperti yang telah dijelaskan di atas, maka dinilai pemanfaatan PLTS sangat efektif digunakan. Penulis menganggap perlunya untuk menganalisis terlebih dahulu sebagai acuan penentuan kapasitas PLTS yang dapat membebani beban untuk kebutuhan gedung server pada kantor bupati Labuhan Batu. Hal yang juga melatar belakangi penelitian ini adalah karena seringnya terjadi pemadaman listrik yang diakibatkan oleh perawatan oleh pihak PLN. Pada penelitian ini dibutuhkan data intensitas cahaya matahari, luas area rooftop pada gedung utama kantor bupati dan total beban pada gedung server yang akan disuplai oleh PLTS. Data intensitas cahaya matahari diambil menggunakan software Homer, kemudian data luas area rooftop diambil melalui software berbasis web yaitu Heliocope dan data beban diambil melalui data pembayaran penggunaan daya pada beban gedung server. Setelah dilakukan penelitian maka didapat data beban yang ada adalah sebesar 4.127 kWh/bulan dengan rata – rata penggunaan daya 5,7 kWh/jam. Untuk mensuplai beban yang ada setelah dilakukan perhitungan maka dibutuhkan PLTS dengan kapasitas 34,159 WP dengan 122 panel kapasitas masing – masing 280 WP. Dengan menggunakan Helioscope diketahui luas area rooftop pada gedung kantor bupati dapat dipasang panel sebanyak 148 Modul sedangkan kebutuhan panel hanya 122 Modul, maka rooftop kantor bupati labuhan batu dapat dipasang jumlah panel untuk mensuplai beban yang ada pada gedung server. Dari segi ekonomis total biaya pembangunan PLTS untuk mensuplai gedung server setelah dilakukan simulasi pada software HOMER membutuhkan dana sebesar Rp. 247.779.900 dengan biaya per kWh adalah Rp.2.189.

**Kata Kunci : Energi Angin, PLTB, Potensi**

***ANALYSIS OF DETERMINING THE CAPACITY OF ON-GRID SOLAR  
POWER PLANTS AS BACKUP ENERGY  
IN AN OFFICE SERVER BUILDING  
REGENT OF LABUHAN BATU***

***IRHAM MANGAMAR SIREGAR  
2020080006***

***ABSTRACT***

In using PLTS, of course we have to pay attention to several factors, one of which is the location where the PLTS is installed and the load that the PLTS will bear. By looking at the potential of the sun in Indonesia as explained above, it is considered that the use of PLTS is very effective. The author considers it necessary to analyze first as a reference for determining the capacity of PLTS which can burden the needs of the server building at the Labuhan Batu regent's office. The background of this research is the frequent power outages caused by maintenance by the PLN. This research requires data on sunlight intensity, the area of the rooftop area in the main building of the regent's office and the total load on the server building that will be supplied by the PLTS. Data on sunlight intensity was taken using Homer software, then data on the rooftop area was taken through web-based software, namely Heliocope and load data was taken through data on payment for power usage on the server building load. After doing the research, it is obtained that the existing load data is 4,127 kWh/month with an average power usage of 5.7 kWh/hour. To supply the existing load after the calculation is carried out, a PLTS with a capacity of 34,159 WP is needed with 122 capacity panels of 280 WP each. By using the Helioscope it is known that the rooftop area of the regent's office building can be installed with as many as 148 modules while the need for panels is only 122 modules, so the rooftop of the harbor harbor regent's office can be installed with a number of panels to supply the load in the server building. From an economic point of view, the total cost of building a PLTS to supply the server building after simulating the HOMER software requires Rp. 247,779,900 at a cost per kWh of IDR 2,189.

**Keywords: Wind Energy, PLTB, Potential**

## KATA PENGANTAR



Puji syukur kehadiran ALLAH SWT atas rahmat dan karunianya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan insya ALLAH berguna bagi alam semesta. Shalawat berangkaian salam kita ucapkan kepada junjungan Nabi Besar Muhammad SAW karena beliau adalah suri tauladan bagi kita semua yang telah membawakan kita pesan ilahi untuk dijadikan pedoman hidup agar dapat selamat hidup di dunia hingga nanti kembali ke akhirat.

Tulisan ini dibuat sebagai proposal thesis untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kemagisteran pada Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul thesis ini adalah **“PENENTUAN KAPASITAS PLTS *ON GRID* SEBAGAI ENERGI CADANGAN PADA GEDUNG SERVER KANTOR BUPATI LABUHAN BATU”**.

Selesainya penulisan proposal thesis ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT, karena atas berkah dan izin-Mu saya dapat menyelesaikan tugas akhir dan studi di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Ayahanda dan Ibunda tercinta, yang dengan cinta kasih & sayang tulus jiwa mengasuh, mendidik, dan membimbing dengan segenap ketulusan hati tanpa mengenal kata lelah sehingga penulisa bisa seperti saat ini.
3. Bapak Prof. Dr. H. Triono Eddy, SH., M. Hum selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Assoc. Prof. Dr. Ir. Suwarno M. T, selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Assoc. Prof. Dr. M. Fitra Zambak, M. Sc, selaku Dosen Pembimbing I dalam penyusunan thesis ini.

6. Ibu Rohana, S.T, M.T selaku Sekretaris Program Studi Magister Teknik Elektro sekaligus Dosen Pembimbing II dalam penyusunan thesis ini.
7. Segenap Bapak & Ibu Dosen di Program Pascasarjana Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Kepada teman seperjuangan Program Studi Magister Teknik Elektro angkatan 2019 yang selalu memberikan dukungan, dan motivasi kepada penulis.
9. Karyawan Biro Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Serta semua pihak yang telah mendukung dan tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis, oleh karena itu penulsi sangat mengharapkan kritik & saran yang membangun dari segenap pihak.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat menambah dan memperkaya lembar khazanah pengetahuan bagi para pembaca sekalian dan khususnya bagi penulis sendiri, Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih.

*Wassalamu'alaikum, Wr. Wb.*

Medan, 16 Maret 2023

**IRHAM MANGAMAR SIREGAR**

2020080006

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>iii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Latar Belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Identifikasi Masalah .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. Batasan Masalah .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4. Rumusan Masalah.....</b>	<b>4</b>
<b>1.5. Tujuan Penelitian .....</b>	<b>4</b>
<b>1.6. Manfaat Penelitian .....</b>	<b>4</b>
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Landasan Teori .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.1. Radiasi Matahari.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.2. Intensitas Cahaya Matahari .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.3. Pembangkit Listrik Tenaga Surya .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1.3.1 Komponen PLTS .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1.3.2 Rangkaian PLTS .....</b>	<b>21</b>
<b>2.1.3.3 Prinsip Kerja Auto Transfer Switch Pada PLTS</b>	<b>26</b>
<b>2.1.4. Daya Listrik .....</b>	<b>32</b>
<b>2.1.5. Beban Listrik .....</b>	<b>33</b>
<b>2.1.6. Aplikasi HOMER .....</b>	<b>33</b>
<b>2.1.6.1 Cara kerja Aplikasi HOMER .....</b>	<b>35</b>
<b>2.1.7. Aplikasi HelioScope.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2. Kajian Pustaka Relevan .....</b>	<b>39</b>

2.3. Kerangka Berfikir .....	42
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b>	<b>45</b>
3.1 Pendekatan Penelitian.....	45
3.2 Tempat Penelitian .....	45
3.3 Definisi Operasional Variabel .....	45
3.4 Teknik Pengumpulan Data .....	46
3.5 Bagan Alir Penelitian .....	47
3.6 Teknik Analisis Data .....	51
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>52</b>
4.1 Hasil Penelitian .....	52
4.1.1. Perhitungan Beban Total .....	52
4.1.2. Penentuan Kapasitas PLTS.....	54
4.1.3. Perencanaan Ekonomis.....	55
4.2 Pembahasan .....	60
<b>BAB 5PENUTUP .....</b>	<b>65</b>
5.1 Kesimpulan .....	65
5.2 Saran .....	65
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>66</b>

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Peran energi listrik pada kehidupan kesejahteraan pembangunan masyarakat merupakan aspek yang sangat penting. Hal ini terbukti dalam kebutuhan energi listrik pada masyarakat semakin naik dari tahun ke tahun. Sementara saat ini ketersediaan energi yang digunakan sebagian besar menggunakan bahan bakar fosil yaitu batu bara, gas dan minyak bumi. Jika energi fosil tersebut terus digunakan akan berkurang dan lama-lama habis, jika tidak segera diatasi maka dapat dipastikan akan terjadi krisis energi. Untuk mengatasi hal ini, energi terbarukan dapat dimanfaatkan sebagai alternatif utama untuk mencukupi pasokan energi listrik yang melonjak akibat dari meningkatnya kebutuhan energi listrik yang terdapat di Indonesia setiap tahunnya. Energi terbarukan tersebut berupa energi matahari. Energi matahari yaitu sesuatu yang memiliki sifat abstrak tetapi bisa dirasakan yang bersumber dari cahaya matahari dengan ketersediannya yang tak terbatas serta ramah lingkungan. Rata-rata jumlah panas matahari diperoleh mencapai 1 kW/m<sup>2</sup> atau sama dengan 1000 kali pemakaian energi di dunia [1].

Matahari adalah sumber energi yang berjumlah besar dan bersifat terus menerus (tidak habis), khususnya energi yang dipancarkan oleh matahari. Penggunaan tenaga surya tidak membutuhkan pembakaran sehingga tidak menghasilkan gas buang berupa gas rumah kaca. Pemanfaatan energi matahari dilakukan dengan mengubah sinar matahari menjadi energi listrik untuk memenuhi kebutuhan energi manusia. Pemanfaatan tenaga surya dilakukan dengan mengubah sinar matahari secara langsung menjadi panas atau energi listrik. Dua tipe dasar tenaga matahari adalah sinar matahari dan photovoltaic. Untuk menjawab hal tersebut, hal yang paling dibutuhkan adalah kreativitas agar dapat menciptakan inovasi-inovasi terkait teknologi. Terbatasnya sumber energi fosil sebagai penghasil energi listrik telah mendorong penelitian dan pengembangan kearah penggunaan sumber energi alternatif salah satunya adalah sumber energi matahari.

Dalam penggunaan PLTS tentu saja kita harus memperhatikan beberapa faktor salah satunya adalah lokasi tempat pemasangan PLTS dan beban yang akan ditanggung PLTS tersebut. [2] Dengan melihat potensi matahari di Indonesia seperti yang telah dijelaskan di atas, maka dinilai pemanfaatan PLTS sangat efektif digunakan. Sebelum proses pemasangan dan instalasi, maka penulis menganggap perlunya untuk menganalisis terlebih dahulu sebagai acuan penentuan kapasitas PLTS yang dapat membebani beban untuk kebutuhan gedung server pada kantor bupati Labuhan Batu.

Hal yang juga melatar belakangi penelitian ini adalah karena seringnya terjadi pemadaman listrik yang diakibatkan oleh perawatan oleh pihak PLN. Dimana perawatan yang sering terjadi adalah pemotongan dahan – dahan ranting pohon yang bersentuhan langsung dengan kabel distribusi, sehingga mengharuskan pihak PLN untuk mematikan aliran listrik pada saat perawatan dilakukan. Hal ini tentu saja mengganggu aktifitas pada kantor terkhusus pada kantor bupati labuhan batu. Pada kantor labuhan batu terdapat satu gedung yang berisikan server dari tiap – tiap gedung yang ada. Gedung ini diharuskan untuk tetap hidup agar menjaga kinerja dari tiap – tiap kantor yang ada disekitarnya. Selama ini gedung server menggunakan genset sebagai energi alternatif apabila terjadinya pemadaman listrik oleh pihak PLN, melihat harga bahan bakar minyak dan seringnya terjadi kerusakan pada genset dinilai kurang efektif apabila tetap bertahan menggunakan energi alternatif tersebut. Maka dari itu penelitian ini yang dilakukan dengan harapan nantinya menjadi refrensi bagi pihak bupati labuhan batu untuk dapat mengganti energi alternatif gedung server dengan energi baru terbarukan yaitu pembangkit listrik tenaga surya.

## **1.2 Identifikasi Masalah**

Dari latar belakang yang ada, maka adapun identifikasi masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pemanfaatan energi matahari menjadi pembangkit listrik tenaga surya sangat besar potensinya di Indonesia. Namun untuk memanfaatkan PLTS terlebih dahulu kita harus berinfestasi dalam jumlah besar diawal

perancangan dan instalasi PLTS. Hal ini dikarenakan harga PLTS yang pada saat ini masih relatif mahal. Untuk mendapatkan PLTS yang efektif dari segi ekonomis dan pemanfaatan maka perlunya untuk menganalisis berapa kebutuhan yang akan dibebani sehingga mendapatkan kapasitas PLTS yang mampu menutupi kebutuhan beban.

2. Pada gedung bupati labuhan batu termasuk area yang sering mengalami pemadaman listrik oleh PLN yang disebabkan oleh perawatan kabel distribusi yang bersentuhan langsung. Hal ini menyebabkan kegiatan perkantoran menjadi terganggu. Ini dikarenakan pada kantor bupati labuhan batu terdapat satu gedung yang berisi server, dimana server ini harus tetap dalam keadaan hidup untuk menjaga kinerja pada kantor – kantor disekitarnya. Atas dasar masalah inilah penelitian ini merencanakan pemasangan PLTS untuk membebani gedung server pada kantor bupati labuhan batu apabila terjadinya pemadaman listrik.
3. Pemanfaatan PLTS yang akan dianalisis menggunakan sistem on-grid yang akan dianalisa untuk dipasang pada gedung utama kantor bupati. Dimana perencanaan dilakukan menggunakan software HelioScope dan Homer. Helioscope digunakan sebagai design PLTS atau dan Homer digunakan sebagai analisis PLTS terhadap beban yang disuplai. Penelitian ini terbatas hanya merencanakan PLTS sesuai kebutuhan beban dan tidak membatasi sistem proteksi dari PLTS

### **1.3 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sumber listrik yang dihasilkan oleh PLTS digunakan sebagai energi cadangan pada saat terjadi pemadaman listrik oleh PLN
2. Data beban yang akan disuplai diambil dengan cara menghitung beban total yang ada pada gedung server kantor bupati labuhan batu yang ingin dirancang PLTS.

3. Dari hasil data beban yang akan disuplai dan data intensitas cahaya matahari yang ada, kemudian memanfaatkan aplikasi HOOMER dan HelioScope untuk mendapatkan berapa kapasitas PLTS yang layak dipasang.

#### **1.4 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Berapa total beban yang ada pada gedung server kantor bupati labuhan batu?
2. Berapa kapasitas panel surya yang akan dipasang pada atap gedung utama kantor bupati labuhan batu untuk mensuplai beban pada gedung server?
3. Bagaimana nilai ekonomis pembangkit listrik tenaga surya untuk mensuplai Gedung server?

#### **1.5 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menghitung Total beban yang ada pada gedung server kantor bupati labuhan batu
2. Menghitung kapasitas panel surya yang mampu dipasang pada atap kantor bupati labuhan batu untuk mensuplai beban pada gedung server
3. Menentukan nilai ekonomis pembangkit listrik tenaga surya untuk mensuplai Gedung server

#### **1.6 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat penelitian ini yang diharapkan adalah :

1. Bagi penulis sebagai sarana pendalaman studi dan sebagai peancangan PLTS on-grid
2. Bagi perguruan tinggi dapat menjadi refrensi untuk penulisan lanjutan
3. Bagi pemerintah labuhan batu dapat sebagai bahan analisis kajian perancangan PLTS on-grid

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Landasan Teori**

Menurut Direktur Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE) Kementerian ESDM Indonesia sangat kaya akan energi terbarukan dengan potensi lebih dari 400.000 Mega Watt (MW), 50% diantaranya atau sekitar 200.000 MW adalah potensi energi surya. Sementara pemanfaatan energi surya sendiri saat ini baru sekitar 150 MW atau 0,08% dari potensinya. Padahal, Indonesia adalah Negara khatulistiwa yang seharusnya bisa menjadi panglima dalam pengembangan energi surya. Transformasi energi menuju energi baru dan terbarukan harus dimulai. Green economy, green technology, dan green product harus diperkuat agar kita bisa bersaing di pasar global, saat ini pembiayaan untuk bisnis energi fosil semakin diperketat, sementara industri energi terbarukan makin pesat dan harganya makin murah dari waktu ke waktu, terutama Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Berdasarkan data IRENA, 2021, kapasitas PLTS di Vietnam telah mencapai 16.504 MW, meningkat drastis dalam 3 tahun. Di Malaysia sebesar 1.493 MW dan India sebesar 38.983 MW [1].

Mengantisipasi hal tersebut, Pemerintah melalui Kementerian ESDM menargetkan terpasangnya PLTS Atap sebesar 3.600 MW secara bertahap hingga tahun 2025. Untuk itu, Kementerian ESDM akan menerbitkan peraturan yang mendorong pemasangan PLTS Atap oleh konsumen semakin bergairah dan bergotong-royong, yaitu melalui revisi Peraturan Menteri ESDM Nomor 49 tahun 2018 tentang Penggunaan PLTS Atap. Adapun beberapa stimulus bagi rakyat yang ingin memasang PLTS atap antara lain: ketentuan ekspor listrik dari masyarakat ke PLN ditingkatkan dari 65% menjadi 100%, jangka waktu kelebihan listrik masyarakat di PLN diperpanjang dari 3 bulan menjadi 6 bulan, waktu permohonan PLTS Atap dipersingkat menjadi 5 s.d. 12 hari [2].

Pengaturan tidak hanya untuk pelanggan PLN saja tetapi juga termasuk pelanggan di Wilayah Usaha non-PLN, mekanisme pelayanan berbasis aplikasi untuk kemudahan penyampaian permohonan, pelaporan, dan pengawasan

program PLTS Atap, dibukanya peluang perdagangan karbon dari PLTS Atap, serta tersedianya Pusat Pengaduan PLTS Atap untuk menerima pengaduan dari masyarakat," imbuh Dadan. Dalam menyiapkan revisi Peraturan Menteri terkait Penggunaan PLTS Atap, Kementerian ESDM telah mempertimbangkan dan mengantisipasi semua aspek yang menjadi concern masyarakat yang berkeinginan memasang PLTS Atap dan PLN sebagai BUMN yang ditugaskan untuk menyediakan listrik masyarakat secara seimbang [3].

### **2.1.1 Radiasi Matahari**

Setiap tahunnya ada sekitar  $3,9 \times 10^{24}$  Joule =  $1,08 \times 10^{18}$  kWh energi matahari yang mencapai permukaan bumi, ini berarti energi yang diterima bumi dari matahari adalah 10.000 kali lebih banyak dari permintaan energi primer secara global tiap tahunnya dan lebih banyak dari cadangan ketersediaan keseluruhan energi yang ada di bumi [7]. Cahaya matahari merupakan sumber energi utama bagi reaksi fotosintesis. Energi matahari yang diserap oleh daun sebesar 1- 5% sedangkan sisanya dikeluarkan melalui transpirasi dan dipancarkan/dipantulkan. Hasil pemantulan gelombang cahaya ke udara ini menghasilkan warna vegetasi alami yang diterima oleh mata [8].

Secarara umum, Intensitas cahaya adalah besaran pokok fisika untuk mengukur daya yang dipancarkan oleh suatu sumber cahaya pada arah tertentu per satuan sudut. Satuan SI intensitas cahaya ini disebut dengan Candela (Cd). Satuan ini yang mengukur kekuatan sinar cahaya dari suatu sumber cahaya berdasarkan radiasi monochromatic sebesar  $540 \times 10^{12}$  hertz dengan intensitas radian di arah  $1/683$  watt per steradian.[7].

Dalam hal ini akan dipelajari tentang intensitas cahaya matahari. Semakin besar intensitas cahaya matahari secara proposional akan menghasilkan arus yang besar. Terdapat beberapa alat untuk mengukur intensitas cahaya matahari yaitu :

1. Lightmeter atau Luxmeter
2. Ganiofotometer
3. Spektrofotometer

### 2.1.2 Intensitas Cahaya Matahari

Intensitas cahaya yang disebut juga sebagai  $I$ , yang mana  $I$  mempunyai satuan fisik yaitu cd atau yang disebut sebagai kandela yang berasal dari kata Yunani, kandela dalam artian adalah cahaya yang dihasilkan dari sebuah lilin yang nyala, dalam hal ini kandel memiliki satuan lumen, dan pada kandel inilah pengukuran dilakukan berdasar intensitas dari cahaya, dan arus cahaya dinyatakan didalam perbandingan diferensial  $I$  dan ruang [4].

Lux Meter adalah alat yang digunakan untuk mengukur besarnya intensitas cahaya di suatu tempat. Besarnya intensitas cahaya ini perlu untuk diketahui karena pada dasarnya manusia juga memerlukan penerangan yang cukup. Untuk mengetahui besarnya intensitas cahaya ini maka diperlukan sebuah sensor yang cukup peka dan linier terhadap cahaya [10].

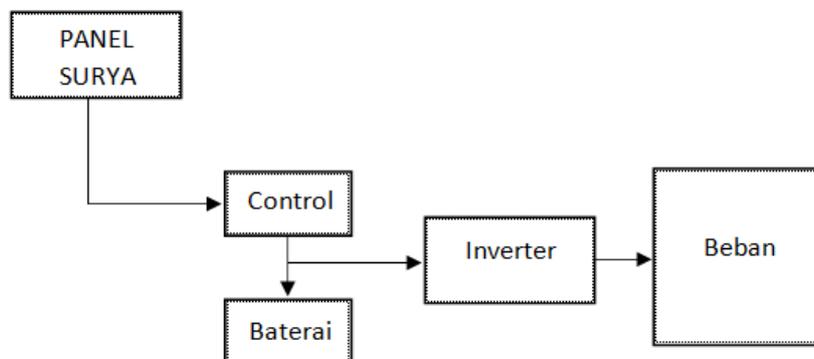
Sebuah alat yang mampu mengetahui serta mengukur seberapa besar intensitas cahaya yang berada di suatu tempat. Alat ukur cahaya jenis digital, lebih digunakan karena dinilai lebih cepat dan praktis. Terdapat tiga range yang berbeda pada skala pengukurannya, yakni A, B, dan C. Range yang digunakan nantinya berpengaruh pada pengukuran cahaya yang akan dihasilkan. Jika ingin mendapatkan hasil yang akurat, sebaiknya gunakan range A karena memiliki jumlah lux hingga 2000. Fungsi alat tersebut adalah sebagai pengukur intensitas cahaya yang tersebar di dalam suatu tempat. Penciptaan alat ukur cahaya tersebut dilatarbelakangi kesadaran kebutuhan cahaya yang berbeda-beda di tiap ruangan, misalnya pada ruang kerja. Pencahayaan yang ada di ruang kerja tentunya harus lebih terang daripada kamar tidur [10].

Namun pengukuran intensitas cahaya matahari dengan manual sudah sangat jarang dilakukan, maupun untuk kebutuhan prediksi cuaca, ataupun kebutuhan penelitian. Salah satunya penelitian mengenai pembangkit listrik tenaga surya, pada penelitian tentang PLTS tentunya membutuhkan nilai intensitas cahaya matahari agar dapat mengetahui input yang masuk dan output yang dihasilkan oleh PLTS. Pada banyak penelitian menggunakan data yang telah ada pada instansi pemerintahan nasional maupun internasional. Untuk daerah di

Indonesia BMKG juga memiliki data intensitas cahaya matahari seluruh Indonesia lengkap dengan data suhu, kelembaban udara dan lainnya yang berkaitan dengan cuaca. Untuk skala internasional ada NASA yang juga memiliki data yang lebih luas mencakup dunia [11].

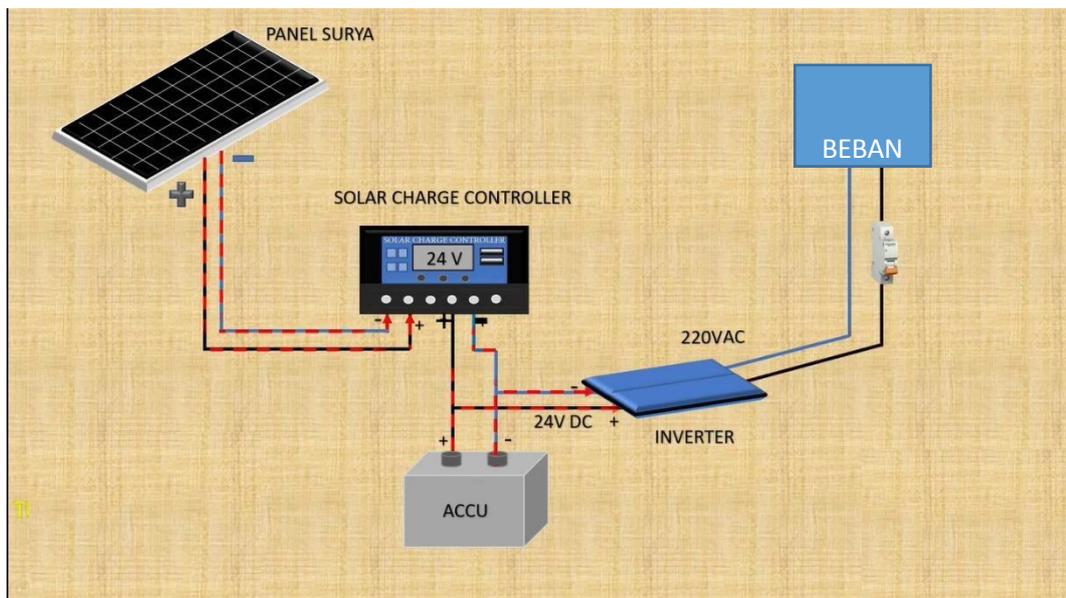
### 2.1.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Kebutuhan energi listrik Indonesia selama ini berasal dari hasil pertambangan energi konvensional seperti minyak bumi dan batu bara. Sebagian besar hasil pertambangan ini selain di ekspor ke luar negeri juga dipakai untuk konsumsi dalam negeri seperti digunakan untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar transportasi, perindustrian, pemukiman penduduk dan lain-lain. Pemakaian sumber energi surya di Indonesia mempunyai prospek yang sangat baik, mengingat bahwa secara geografis sebagai negara tropis yang dilewati khatulistiwa mempunyai potensi energi surya yang cukup baik dengan insolasi rata-rata harian yang besar yang dapat dikembangkan sebagai salah satu sumber energi murah dan tersedia sepanjang tahun. Hal ini disebabkan karena pembangkit listrik yang mempergunakan konversi fotovoltaik dalam memanfaatkan energi surya atau lebih umum di kenal sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) ini tidak lagi memerlukan bahan bakar. Pembangkit Listrik Tenaga Surya adalah sumber energi penghasil listrik yang ramah lingkungan dan tidak menggunakan bahan bakar minyak, sehingga sangat murah, karena energi surya/matahari merupakan sumber energi yang tidak terbatas [5]. adapun diagram blok dari PLTS adalah sebagai berikut :



Gambar 2.1 Diagram Blok PLTS

Pada gambar 2.1 skema PLTS, ada beberapa komponen untuk PLTS yaitu panel surya, kontroller, baterai dan inverter. Panel surya berfungsi sebagai alat yang mengkonversi energi matahari yang diserap menjadi energi listrik. Kemudian energi listrik yang dihasilkan panel surya dialirkan masuk ke kontroller, dimana kontroller pada PLTS berfungsi sebagai regulator tegangan atau arus yang dapat menjaga baterai dari pengisian yang berlebihan ke baterai. Kemudian listrik dialiri ke baterai, dimana baterai berfungsi sebagai penyimpan energi yang telah dihasilkan panel surya. Kemudian listrik masuk kedalam inverter, inverter berfungsi sebagai mengkonversi tegangan DC dari baterai ke AC, selain mengkonversi tegangan inverter juga berfungsi sebagai menaikkan tegangan dari 24V atau 12VDC menjadi 220V AC. Kemudian dari inverter setelah tegangan berubah menjadi AC dapat digunakan pada beban yang ada. Adapun skema rangkaian PLTS adalah sebagai berikut :



Gambar 2.2 Rangkaian dasar PLTS

Untuk rangkaian pertama baterai dihubungkan ke solar charger controller, maka akan muncul tampilan tegangan baterai pada solar charger controller. Kemudian panel surya dihubungkan ke solar charger controller agar pengisian baterai dapat terjaga. Apabila baterai penuh maka scc dapat menghentikan pengisian ke baterai.

Dari baterai terhubung ke inverter agar tegangan DC pada baterai dirubah ke AC agar dapat digunakan pada beban. Dapat ditambahkan MCD 1 phasa sebagai kontaktor manual pemutus dan penghubung energi dari PLTS.

Untuk menentukan daya keluaran dari panel surya yang digunakan, dapat digunakan persamaan sebagai berikut : [35]

$$P = V \times I \quad (2.1)$$

Dimana :

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

### **2.1.3.1 Komponen PLTS**

PLTS atau lebih dikenal dengan sel surya (photovoltaic cells) akan lebih diminati karena dapat digunakan untuk berbagai keperluan yang relevan dan di berbagai tempat seperti perkantoran, pabrik, perumahan, sumber energi listrik pada peralatan elektronik yang tidak terjangkau oleh aliran listrik PLN dan lainnya. Di Indonesia yang merupakan daerah tropis mempunyai potensi energi matahari sangat besar dengan insolasi harian rata-rata 4,5-4,8 kWh/m<sup>2</sup> / hari. Akan tetapi energi listrik yang dihasilkan sel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari yang diterima oleh sistem. Saat tengah hari yang cerah radiasi sinar matahari mampu mencapai 1000 watt per meter persegi. Jika sebuah piranti semikonduktor seluas satu meter persegi memiliki efisiensi 10%, maka modul sel surya ini mampu memberikan tenaga listrik sebesar 100 watt [12].

#### **1. Panel Surya**

Panel surya merupakan sebuah perangkat yang mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik dengan proses efek fotovoltaic, oleh karenanya dinamakan juga sel fotovoltaic (Photovoltaic cell – disingkat PV)). Tegangan listrik yang dihasilkan oleh sebuah sel surya sangat kecil, sekitar 0,6V tanpa beban atau 0,45V dengan beban. Untuk mendapatkan tegangan listrik yang besar sesuai keinginan diperlukan beberapa sel surya yang tersusun secara seri. Jika 36 keping sel surya tersusun seri, akan menghasilkan tegangan sekitar 16V.

Tegangan ini cukup untuk digunakan mensuplai aki 12V. Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang lebih besar lagi maka diperlukan lebih banyak lagi sel surya. Gabungan dari beberapa sel surya ini disebut Panel Surya atau modul surya. Susunan sekitar 10 - 20 atau lebih Panel Surya akan dapat menghasilkan arus dan tegangan tinggi yang cukup untuk kebutuhan sehari hari [11].



Gambar 2.3. Panel Surya

surya tersusun seri, akan menghasilkan tegangan sekitar 16V. Tegangan ini cukup untuk digunakan mensuplai aki 12V. Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang lebih besar lagi maka diperlukan lebih banyak lagi sel surya. Gabungan dari beberapa sel surya ini disebut Panel Surya atau modul surya. Susunan sekitar 10 - 20 atau lebih Panel Surya akan dapat menghasilkan arus dan tegangan tinggi yang cukup untuk kebutuhan sehari hari [11]. Sinar matahari yang menyinari di bumi dapat diubah menjadi energi listrik melalui sebuah proses yang dinamakan photovoltaic (PV). Photo merujuk kepada cahaya dan voltaic mengacu kepada tegangan. Terminologi ini digunakan untuk menjelaskan sel elektronik yang memproduksi energi listrik arus searah dari energi radian matahari. Photovoltaic cell dibuat dari material semikonduktor terutama silikon yang dilapisi oleh bahan tambahan khusus. Jika cahaya matahari mencapai cell maka electron akan terlepas dari atom silikon dan mengalir membentuk sirkuit listrik sehingga energi listrik dapat dibangkitkan. Sel surya selalu didesain untuk mengubah cahaya menjadi

energi listrik sebanyak- banyaknya dan dapat digabung menjadi seri atau parallel untuk menghasilkan tegangan dan arus yang diinginkan [12]. Solar cell memiliki beberapa jenis ataupun type. Dimana setiap type memiliki kekurangan dan kelebihan masing – masing. Adapun jenis – jenis solar cell tersebut adalah sebagai berikut :

a. *Mono-Crystalline*

yang diiris tipis-tipis. Kira-kira hampir sama seperti pembuatan keripik singkong. Satu singkong diiris tipis- tipis, untuk menghasilkan kepingan kepingan keripik yang siap digoreng. Itu singkong yang mudah diiris tipis-tipis, beda dengan kristal silikon murni yang membutuhkan teknologi khusus untuk mengirisnya menjadi kepingan-kepingan kristal silikon yang tipis. Dengan teknologi seperti ini, akan dihasilkan Kepingan sel surya yang identik satu sama lain dan berkinerja tinggi. Sehingga menjadi sel surya yang paling efisien dibandingkan jenis sel surya lainnya, sekitar 15% - 20%. Mahalnya harga kristal silikon murni dan teknologi yang digunakan, menyebabkan mahalnya harga jenis sel surya ini dibandingkan jenis sel surya yang lain di pasaran. Sel-sel surya monocrystalline juga dikenal sebagai sel-sel kristal tunggal. Monocrystalline sangat mudah diidentifikasi karena berwarna hitam pekat. Sel monocrystalline terbuat dari bentuk silikon yang sangat murni, membuatnya menjadi bahan paling efisien untuk konversi sinar matahari menjadi energi. [13] Mono-Crystalline ini Merupakan panel yang paling efisien, menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya mataharinya kurang (teduh) [14].



Gambar 2.4 Monocrystalline

*b. Poly-Crystalline*

Jenis ini terbuat dari beberapa batang kristal silikon yang dilebur atau dicairkan kemudian dituangkan dalam cetakan yang berbentuk persegi. Kemurnian kristal silikonnya tidak sempurna pada sel surya monocrystalline, karenanya sel surya yang dihasilkan tidak identik satu sama lain dan efisiensinya lebih rendah, sekitar 13% - 16%. [14] Tampilannya nampak seperti ada motif pecahan kaca di dalamnya. Bentuknya yang persegi, jika disusun membentuk panel surya, akan rapat dan tidak akan ada ruangan kosong yang sia-sia seperti susunan pada panel surya monocrystalline di atas. Proses pembuatannya lebih mudah di banding monocrystalline, karenanya harganya lebih murah. Jenis ini paling banyak dipakai saat ini. Panel surya pertama berdasarkan silikon polycrystalline yang juga dikenal sebagai polysilicon (p-Si) dan multi- kristal silikon (mc-Si), diperkenalkan ke pasar pada tahun 1981 [14].



Gambar 2.5 Poly Crystalline

c. *Thin Film*

Jenis sel surya ini diproduksi dengan cara menambahkan satu atau beberapa lapisan material sel surya yang tipis ke dalam lapisan dasar. Sel surya jenis ini sangat tipis karenanya sangat ringan dan fleksibel. Jenis ini dikenal juga dengan nama TFPV (Thin Film Photovoltaic) [13]. Modul sel surya komersial memiliki efisiensi berkisar antara 5% hingga 15% tergantung material penyusunnya. Tipe silikon kristal merupakan jenis piranti sel surya yang memiliki efisiensi tinggi meskipun biaya pembuatannya relatif lebih mahal dibandingkan jenis sel surya lainnya. Masalah yang paling penting untuk merealisasikan sel surya sebagai sumber energi alternatif adalah efisiensi piranti sel surya dan harga pembuatannya. Efisiensi didefinisikan sebagai perbandingan antara tenaga listrik yang dihasilkan oleh piranti sel surya dibandingkan dengan jumlah energi cahaya yang diterima dari pancaran sinar matahari. Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) sebenarnya tergantung pada efisiensi konversi energi dan konsentrasi sinar matahari yang diterima sel tersebut. Sebagai sistem pembangkit mandiri yang dipakai sebagai sumber listrik pada peralatan listrik PLTS ini akan dipasangkan pada peralatan sistem kendali tanah longsor. Oleh karena itu perlunya dilakukan perencanaan dari PLTS ini untuk menentukan berapa besar kebutuhan accu, panel surya, inverter dan charge dari accunya [9].



Gambar 2.6 Thin Film PV

## 2. *Solar Charger Controller*

Solar charge controller adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. solar charge controller mengatur over charging (kelebihan pengisian – karena batere sudah ‘penuh’) dan kelebihan Voltase dari panel surya/ solar cell [15].



Gambar 2.7. Solar Charger Controller

Solar charge controller berfungsi untuk menjaga keseimbangan energi di baterai dengan cara mengatur tegangan maksimum dan minimal dari baterai tersebut, alat ini juga berfungsi untuk memberikan pengamanan terhadap sistem yaitu: Proteksi terhadap pengisian berlebih (over charge) di baterai, proteksi terhadap pemakaian berlebih (over discharge) oleh beban, mencegah terjadinya arus balik ke modul surya, melindungi terhadap terjadinya hubungan. Macam-macam solar charger controller yang ada dipasara :

a. PWM

Charge controller PWM (Pulse Width Modulation) adalah alat pengontrol pengisian yang berfungsi mengecaskan aki dari panel surya dengan menggunakan modulasi pulsa untuk mengendalikan keberlangsungan pengisian. Ketika aki mendekati kondisi terisi penuh, alat PWM akan perlahan-lahan menurunkan jumlah daya yang masuk ke baterai demi untuk mengurangi stres pada aki tersebut. Alat pengecaskan PWM banyak terdapat di pasaran, harganya juga lebih murah, dan tersedia dalam berbagai ukuran untuk aplikasi yang luas. Keterbatasan kontroler PWM antara lain yaitu ukuran tegangan alat pengecaskan harus sesuai dengan tegangan bank baterai, dan kapasitas alat PWM biasanya terbatas pada 60 ampere (maksimum) [15].

b. MPPT

Maximum Power Point Tracking atau sering disingkat dengan MPPT merupakan sebuah sistem elektronik yang dioperasikan pada sebuah panel photovoltaic (PV) sehingga panel photovoltaic bisa menghasilkan power maksimum. Perlu diperhatikan, MPPT bukanlah sebuah sistem tracking mekanik yang digunakan untuk mengubah posisi modul terhadap posisi matahari sehingga mendapatkan energi maksimum matahari. MPPT benar-benar sebuah sistem elektronik yang bisa menelusuri titik power maksimum power yang bisa dikeluarkan oleh sebuah panel PV. Mppt umumnya memiliki keistimewaan yaitu tegangan input yang tinggi buat mencharge baterai baik 12v s/d 48v, bahkan sebagian controller mampu mencharge sampai 60vdc. Harga memang mahal, akan tetapi efisiensinya memang lebih baik. Mppt mampu memanfaatkan kelebihan tegangan tersebut serta dikonversi sebagai arus/ampere yg tinggi ke baterai, sedangkan di PWM sebab hari mendung, walaupun tegangan tetap ada (bahkan hampir sama atau tidak terdapat penurunan) tapi ampere jauh lebih kecil [15].

Untuk menentukan kapasitas Charger Controller dapat menggunakan rumus sebagai berikut : [34]

$$I = ISC \times Np \times FSafe \quad (2.2)$$

Dimana :

I = Arus (Ampere)

Isc= Short Circuit Current

Np = Jumlah Panel Fsafe = Safety Factor

### 3. Baterai

Baterai adalah suatu proses kimia listrik, dimana pada saat pengisian energi listrik diubah menjadi kimia dan saat pengeluaran/discharge energi kimia diubah menjadi energi listrik. Baterai menghasilkan listrik melalui proses kimia. Baterai atau akkumulator adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang reversible (dapat berkebalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Yang dimaksud dengan reaksi elektrokimia reversibel adalah didalam baterai dapat berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (proses pengisian) dengan cara proses regenerasi dari elektroda- elektroda yang dipakai yaitu, dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan didalam sel. Baterai terdiri dari dua jenis yaitu, baterai primer dan baterai sekunder [16].



Gambar 2.8 Baterai

Baterai merupakan salah satu komponen yang digunakan pada sistem solar cell yang dilengkapi dengan penyimpanan cadangan energi listrik. Baterai memiliki fungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dalam bentuk energi arus searah. Energi yang disimpan pada baterai berfungsi sebagai cadangan (back up), yang biasanya dipergunakan pada saat panel surya tidak menghasilkan energi listrik, contohnya pada saat malam hari atau pada saat cuaca mendung, selain itu tegangan keluaran ke sistem cenderung lebih stabil. Satuan kapasitas energi yang disimpan pada baterai adalah ampere hour (Ah), yang diartikan arus maksimum yang dapat dikeluarkan oleh baterai selama satu jam. Namun dalam proses pengosongan (discharger), baterai tidak boleh dikosongkan hingga titik maksimumnya, hal ini dikarenakan agar baterai dapat bertahan lebih lama usia pakainya (life time), atau minimal tidak mengurangi usia pakai yang ditentukan dan pabrikan. [6] Batas pengosongan dan baterai sering disebut dengan istilah depth of discharge (DOD), yang dinyatakan dalam satuan persen, biasanya ditentukan sebesar 80%. Banyak tipe dan klasifikasi baterai yang diproduksi saat ini, yang masing-masing memiliki desain yang spesifik dan karakteristik performa berbeda sesuai dengan aplikasi khusus yang dikehendaki. Pada sistem solar cell jenis baterai lead-acid lebih banyak digunakan, hal ini dikarenakan ketersediaan ukuran (Ah) yang ada lebih banyak, lebih murah, dan karakteristik performanya yang cocok. Pada beberapa kondisi kritis,

seperti kondisi temperatur rendah digunakan baterai jenis nickel- cadmium, namun lebih mahal dan segi perbiayaannya [17].

Adapun jenis – jenis baterai adalah :

a. Baterai Asam

Baterai asam yang bahan elektrolitnya adalah larutan asam belerang (sulfuric acid =  $H_2SO_4$ ). Didalam baterai asam, elektroda- elektrodanya terdiri dari plat-plat timah peroksida  $PbO_2$  sebagai anoda (kutub positif) dan timah murni  $Pb$  sebagai katoda (kutub negatif).

b. Alkali

Baterai alkali adalah yang bahan elektrolitnya adalah larutan yang terdiri dari nickel iron dan nickel cadmium.

Battery Pada umumnya yang paling banyak digunakan adalah baterai alkali admium (NiCd). Kapasitas baterai yaitu kemampuan baterai menyimpan daya listrik atau besarnya energi yang dapat disimpan dan dikeluarkan oleh baterai. Besarnya kapasitas, tergantung dari banyaknya bahan aktif pada plat positif maupun plat negatif yang bereaksi, dipengaruhi oleh jumlah plat tiap-tiap sel, ukuran, dan tebal plat, kualitas elektrolit serta umur baterai. Kapasitas energi suatu baterai dinyatakan dalam ampere jam (Ah), misalkan kapasitas baterai 100 Ah 12 volt artinya secara ideal arus yang dapat dikeluarkan sebesar 5 ampere selama 20 jam pemakaian. Besar kecilnya tegangan baterai ditentukan oleh banyak sedikitnya sel baterai yang ada di dalamnya. Sekalipun demikian, arus hanya akan mengalir bila ada konduktor dan beban yang dihubungkan ke baterai. Kapasitas baterai menunjukkan kemampuan baterai untuk mengeluarkan arus (discharging) selama waktu tertentu. Pada saat baterai diisi (charging), terjadilah penimbunan muatan listrik. Jumlah maksimum muatan listrik yang dapat ditampung oleh baterai disebut kapasitas baterai dan dinyatakan dalam ampere jam (Ampere hour) [17]. Kapasitas baterai dapat dinyatakan dengan persamaan dibawah ini : [17]

$$N = I \times t \quad (2.3)$$

Dimana :

N = Kapasitas Baterai (Ah)

I = Kuat Arus (Ampere)

t = Waktu (Jam)

#### 4. Inverter

Inverter merupakan suatu alat elektronika yang berfungsi mengubah dari sumber tegangan arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) dengan besaran tegangan dan frekuensinya dapat diatur.[18] Prinsip kerja inverter dapat dijelaskan pada Gambar 2.6 dengan menggunakan 4 sakelar. Bila sakelar S1 dan S2 dalam kondisi on maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kiri ke kanan, jika yang hidup adalah sakelar S3 dan S4 maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kanan ke kiri.



Gambar 2.9 Inverter

Inverter biasanya menggunakan rangkaian modulasi lebar pulsa pulse width modulation (PWM) dalam proses konversi tegangan DC menjadi tegangan AC. Menurut penelitian lain Inverter adalah sebuah alat perubah listrik yang merubah listrik tegangan DC menjadi listrik tegangan AC dengan nilai frekuensi yang dapat dirubah. Inverter menerima sumber tegangan DC sebagai tegangan masukan

yang dapat diperoleh dari akumulator (aki). Dengan proses penyaklaran dari komponen semikonduktor yang ada pada rangkaian inverter. [19] Inverter digunakan untuk mengubah tegangan input DC menjadi tegangan AC. Keluaran inverter dapat berupa tegangan yang dapat diatur dan tegangan yang tetap. Sumber tegangan input inverter dapat menggunakan battery, tenaga surya, atau sumber tegangan DC yang lain. Membagi inverter atas 3 tipe, yaitu: bridge inverters, series inverters dan parallel inverter. Bridge inverters dikelompokkan menjadi inverter jembatan/ setengah gelombang dan inverter jembatan/gelombang penuh [20].

Menentukan kapastias inverter dapat digunakan rumus sebagai berikut :[34]

$$\text{Dimana : } p_{inv} = v_{oc} \times I_{SC} \times F_c \quad (2.4)$$

$V_{oc}$  = Tegangan Tanpa Beban (Volt)  $I_{sc}$  = Arus Hubung Singkat (Ampere)

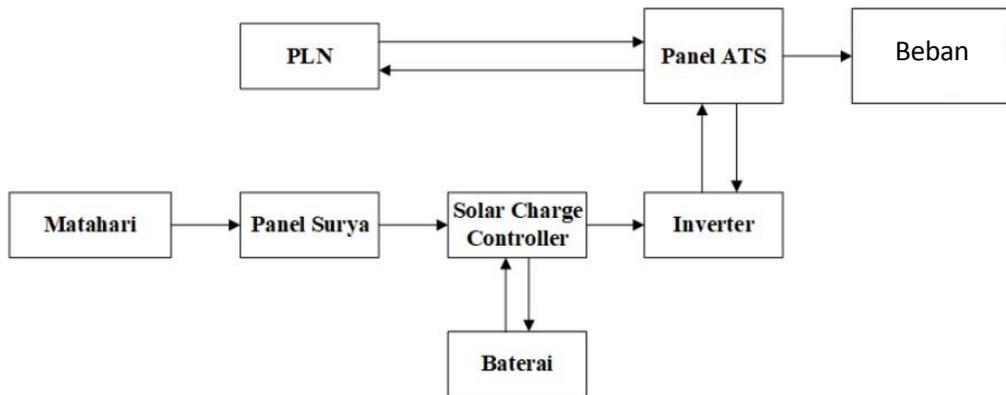
$F_c$  = Faktor Koreksi (3)

### **2.1.3.2 Rangkaian PLTS**

Pembangkit listrik tenaga surya on-grid merupakan sistem ketenagalistrikan yang terhubung dengan jaringan utilitas lokal. Sistem ini sebagian besar digunakan oleh residensial dan komersil karena tidak bergantung hanya dengan pembangkit listrik tenaga surya. Jika listrik yang dihasilkan oleh panel surya berlebih, maka kelebihan tersebut dapat dijual kepada pihak PLN dengan ketentuan ekspor kWh sebesar 100%. Terikat dengan jaringan memungkinkan konsumen tidak melakukan investasi berlebih untuk membeli sistem cadangan baterai. Sedangkan pembangkit listrik tenaga surya off-grid tidak terhubung dengan cara apa pun ke sistem ketenagalistrikan atau PLN. Namun, investasi baterai cukup mahal dan cukup sulit untuk didaur-ulang sehingga tidak terlalu ramah lingkungan. Lantas apa solusi terbaiknya. Saat membuat keputusan untuk beralih menggunakan PLTS, penting untuk memahami beberapa hal untuk membuat pilihan yang tepat.

## 1. *On-Grid*

Sistem On-Grid terpusat merupakan suatu pembangkit listrik terpusat. Daya yang dihasilkan pembangkit ini tidak tersambung langsung ke pelanggan, melainkan ke suatu sistem jaringan tenaga listrik. Biasanya sistem ini memiliki daya terpasang yang cukup besar [29]. adapun blok diagram rangkaian on-grid adalah sebagai berikut :



Gambar 2.10 Blok diagram on-grid PLTS

Sama seperti tata surya off-grid, banyak yang memilih untuk memasang tata surya on-grid ingin menutupi 100% atau hampir 100% dari penggunaan energi mereka. Bergantung pada waktu menggunakan listrik, PLTS mampu dapat menghasilkan energi berlebih. Alih-alih mengirimkan listrik berlebih ke baterai, listrik mampu dijual ke penyedia jaringan seperti PLN ketentuan ekspor kWh sebesar 100%. Hal ini diatur dalam Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 26 Tahun 2021 tentang PLTS Atap yang Terhubung Pada Jaringan Tenaga Listrik Pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk Kepentingan Umum (IUPTLU). Peraturan Menteri ini merupakan penyempurnaan dari peraturan sebelumnya sebagai upaya memperbaiki tata kelola dan keekonomian PLTS Atap. Peraturan ini juga merupakan langkah tindak lanjut untuk merespon dinamika yang ada dan memfasilitasi keinginan masyarakat untuk mendapatkan listrik dari sumber

energi terbarukan, serta berkeinginan berkontribusi menurunkan emisi gas rumah kaca [29].

Sel surya merupakan suatu piranti semikonduktor yang mampu mengubah cahaya menjadi arus listrik searah (DC) menggunakan Si (kristal silikon) yang tipis. Kristal silikon (Si) tersebut dipanaskan dengan menggunakan tekanan yang sudah diatur sehingga Si berubah dan dapat menghantarkan listrik. Sel surya (fotovoltaik) merupakan kristal silindris yang dipotong setebal 0,3 mm, kemudian membentuk sel-sel silikon yang tipis. Kemudian sel-sel silikon yang tipis tersebut dipasang dengan posisi paralel atau seri pada panel yang memiliki bahan alumunium atau baja anti karat yang kemudian dilindungi oleh kaca atau plastik. Pada tiap-tiap sambungan listrik tersebut kemudian dipasangkan sambungan listrik. Jika sel-sel yang telah dipasang tersebut terpapar oleh sinar matahari, maka sambungan listrik tersebut akan mengalirkan listrik dari satu sel menuju sel lainnya. Besarnya daya listrik yang dialirkan bergantung pada jumlah intensitas energi cahaya yang memapar silikon tersebut dan yang mengenai bidang luas permukaan sel-sel tersebut [8].

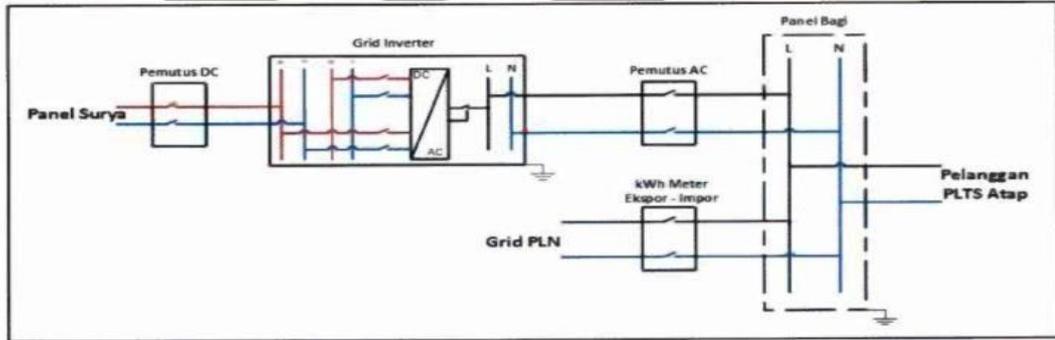
Sinar matahari yang dipancarkan terdiri dari beberapa sel-sel matahari. Sel-sel matahari tersebut terdiri dari partikel-partikel yang sangat kecil. Partikel-partikel tersebut dikenal dengan nama foton. Ketika partikel-partikel foton tersebut mengenai sel-sel surya, partikel-partikel foton tersebut akan menghantam atom semikonduktor pada sel surya. Hantaman dari partikel-partikel foton tersebut menghasilkan energi yang cukup besar, yang dapat memisahkan partikel elektron dari struktur atomnya. Kemudian partikel elektron tersebut menjadi elektron yang bergerak bebas. Partikel elektron yang telah bebas ini akan bergerak mengalirkan arus melalui sambungan listrik yang ada [36].

Sinar matahari yang terpapar mengenai modul sel surya akan menghasilkan daya listrik. Kemudian daya yang dihasilkan akan diteruskan melalui Grid Inverter DC/AC. Untuk beban dengan arus DC, daya yang dihasilkan akan langsung diteruskan agar dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban. Untuk beban AC, arus listrik yang telah diubah dari arus DC menjadi AC akan diteruskan ke panel distribusi, dan kemudian disalurkan untuk memenuhi kebutuhan beban dengan arus listrik AC [36].

Besar tegangan (V), arus (I), dan daya (W) dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Pengaturan tersebut dapat dilakukan dengan cara melakukan kombinasi panel-panel surya secara seri dan paralel sesuai dengan aturan sebagai berikut:

- a. Jika ingin memperoleh tegangan keluaran yang lebih besar dari tegangan keluaran panel surya, maka panel-panel surya harus dihubungkan secara seri.
- b. Jika ingin memperoleh arus keluaran yang lebih besar dari arus keluaran panel surya, maka panel-panel surya harus dihubungkan secara paralel.
- c. Jika ingin memperoleh daya keluaran yang lebih besar dari daya keluaran panel surya, maka panel-panel surya harus dihubungkan secara array (seri dan paralel).

PLTS Grid Connected (On-Grid) bekerja secara paralel dengan jaringan listrik PLN. PLTS Grid Connected yang dirancang diharapkan mampu untuk memenuhi sebagian kebutuhan beban-beban listrik yang tidak terlalu besar, seperti instalasi lampu penerangan. Berikut ini contoh single line diagram sederhana dari instalasi PLTS Grid Connected (On-Grid) ditunjukkan pada Gambar berikut



Gambar 2.11 Single Line Diagram PLTS

Jika beban yang dibutuhkan melebihi dari kemampuan suplai beban panel surya yang dirancang, maka Circuit Breaker AC akan bekerja secara otomatis dan suplai beban akan dilakukan secara paralel oleh jaringan PLN yang ada. Namun pada umumnya, perancangan sistem PLTS telah melalui perhitungan matang tentang kebutuhan beban yang harus disuplai dan dapat beroperasi secara paralel, sehingga kemungkinan terjadinya trip down pada PLTS akan sangat kecil [36].

2. *Off-Grid*

Sistem Off-grid sering digunakan untuk rumah tangga dan desa-desa yang tidak terhubung jaringan listrik. Biasanya sistem ini berfungsi untuk menyediakan listrik untuk penerangan atau beban berdaya rendah. Sistem Off-grid sering digunakan hampir diseluruh dunia dan merupakan teknologi yang tepat untuk memenuhi tenaga listrik bagi masyarakat yang jauh dari jaringan listrik. Pemanfaatan sistem ini sering dijumpai dengan kapasitas terpasang minimal 1 kW dan dapat disalurkan ke beban dengan jarak sekitar 1 sampai 2 km sehingga dapat membentuk mini grid di suatu perdesaan [29].



Gambar 2.11 Blok diagram Off-Grid

Sistem Off-grid sering digunakan secara komersial. Dimana pemanfaatannya dipergunakan secara luas untuk berbagai aplikasi seperti untuk telekomunikasi, pompa air, bantuan navigasi, dan lain- lain. [29] PLTS off-grid bergantung pada ukuran sistem yang dipasang, jumlah listrik yang digunakan, dan kapan listrik digunakan. Apa yang terjadi pada listrik bergantung pada peralatan yang terpasang. Sebagian besar sistem PLTS off-grid dirancang untuk menghasilkan listrik lebih banyak di siang hari, yang kemudian disimpan di baterai. Listrik yang tersimpan di dalam baterai tersebut dapat diakses saat sistem tidak menghasilkan listrik, seperti pada malam hari atau saat cuaca mendung. Meskipun perkiraan cuaca paling terbaik dan akurat, cuaca tidak dapat diprediksi. Jika mengalami cuaca mendung beberapa hari berturut-turut, PLTS tidak dapat menghasilkan listrik yang cukup untuk mengisi baterai dan memenuhi semua kebutuhan. Meskipun memiliki baterai ekstra untuk berjaga-jaga, investasi yang dikeluarkan sangat tinggi [29].

#### **2.1.3.3 Prinsip Kerja *Automatic Transfer Switch* (ATS)**

*Automatic Transfer Switch* merupakan rangkaian kontrol sakelar power inverter dengan PLN yang sudah *full automatic*. Alat ini berguna untuk menghidupkan dan menghubungkan inverter ke beban secara otomatis pada saat PLN padam. Pada saat PLN hidup kembali, alat ini akan memindahkan sumber daya ke beban dari inverter ke PLN. Dalam perkembangan teknologi dunia elektrikal akhirnya merekayasa hal tersebut kemudian dijalankan secara automatic yang disingkat ATS yang difungsikan secara otomatis untuk memindahkan daya sesuai dengan kebutuhan. ATS terdapat beberapa jenis yang dibedakan menurut kapasitas daya yang dibutuhkan atau berdasar fasa dan ampere yang melalui panel, namun untuk prinsip kerjanya sama [31].

*Automatic Transfer Switch* (ATS) merupakan saklar listrik/elektronik yang dapat beralih ketika sumber daya utama terganggu dan secara otomatis menggeser beban ke sumber kedua. Disebut sebagai sakelar otomatis yang bekerja apabila sumber listrik dari PLN terputus atau mengalami pemadaman maka switch akan berpindah ke sumber listrik cadangan yaitu dari PLTS. Pada saat sumber dari PLN

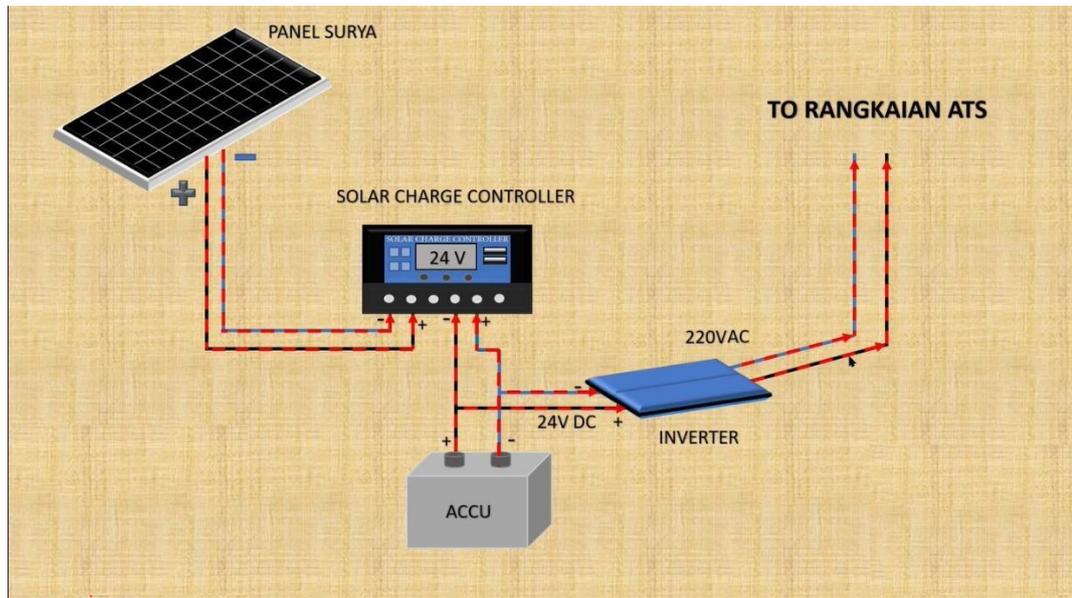
hidup kembali, alat ini akan secara otomatis memindahkan sumber daya ke beban dari PLTS ke PLN. Atau sebaliknya jika pada ATS dipilih sumber utama dari PLTS, maka sebagai sumber cadangannya yaitu dari PLN. Ketika daya yang dihasilkan oleh PLTS tidak dapat memenuhi kebutuhan beban, maka sumber dari PLN akan membackupnya [32].

Selain dalam penggunaan Sistem Solar Home System penggunaan ATS sangat diperlukan dalam hal back-up di Industri. Pada Industri sendiri penggunaan ATS ini digunakan pada sumber PLN. Apabila sumber listrik dari PLN padam, maka ATS akan mengubah sumbernya menjadi sumber dari PLTS. Pada dasarnya pembuatan ATS menggunakan beberapa komponen pendukung seperti relay, kontaktor, MCB, timer. Komponen-komponen tersebut pada prinsipnya adalah sebagai sakelar ataupun pemutus hubungan. Biasanya ATS bisa diterapkan pada PLTS *off-grid* dan *on-grid* atau *grid-connected photovoltaic plant* yaitu sebuah sistem pembangkit listrik tenaga surya yang terhubung dengan jaringan listrik yang sudah ada. Berdasarkan operasi pada PLTS terdapat sistem penyimpanan energi listrik yaitu sistem dengan penyimpanan (*grid-connected photovoltaic with batteryback-up*) dan sistem PLTS tanpa penyimpanan (*grid-connected photovoltaic without battery backup*) [32].

Rangkaian ATS ini sangat berguna ketika PLN sebagai penyedia listrik di industri maupun di rumah menghentikan pasokan listrik karena mengalami gangguan, baik karena sedang melakukan perawatan, ketika kekurangan daya untuk menyuplai tegangan bagi pelanggan yang diakibatkan karena musim kemarau, maupun gangguan ketika terjadi badai / kondisi cuaca yang menyebabkan suplai listrik menjadi terganggu. Karena hal inilah pentingnya ATS untuk menjaga ketersediaan listrik baik bagi rumah tangga maupun bagi industri. ATS (*Automatic Transfer switch*) merupakan suatu sistem pengontrolan yang memiliki fungsi untuk mengganti koneksi secara otomatis dari satu sumber tegangan listrik ke satu sumber tegangan listrik lainnya [32].

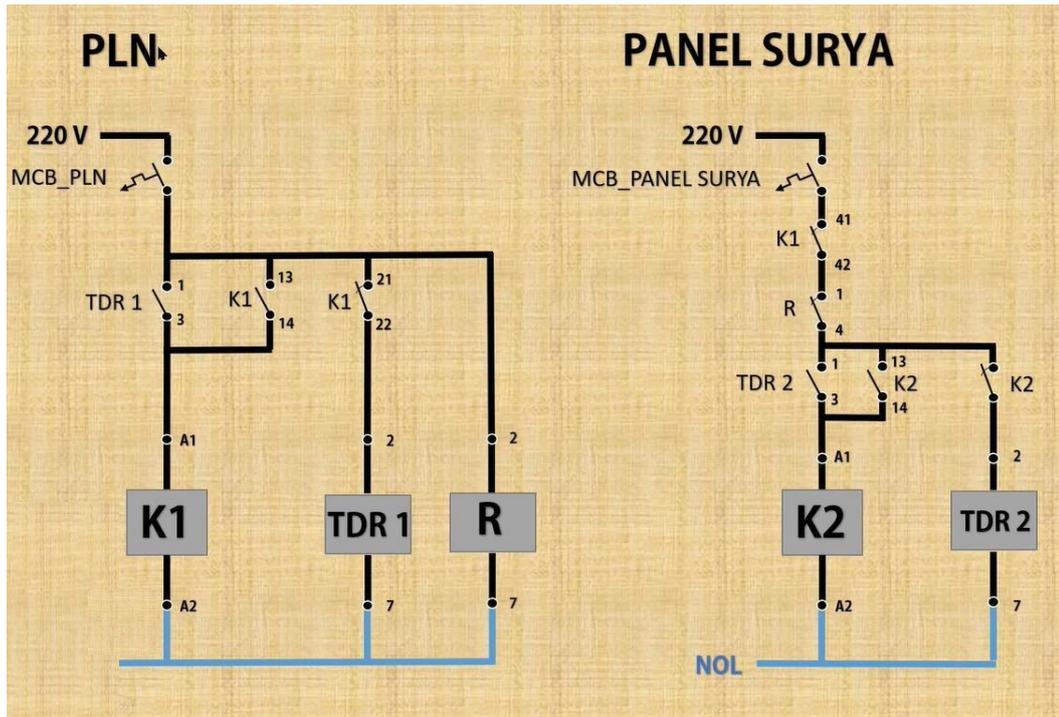
ATS bekerja ketika beban kehilangan sumber tegangan utamanya yaitu PLN, secara serta merta PLTS akan mensuplai beban yang ada secara otomatis, ATS mulai mengganti koneksi dari sumber tegangan utama ke sumber tegangan

cadangan (PLTS). Dari masalah akibat gangguan yang terjadi pada sumber tegangan utama (PLN) digunakan contactor, timer, relay sebagai alat untuk mengontrol agar suplai listrik untuk beban tetap terjaga dengan menghidupkan suplai tegangan listrik cadangan secara otomatis [32].



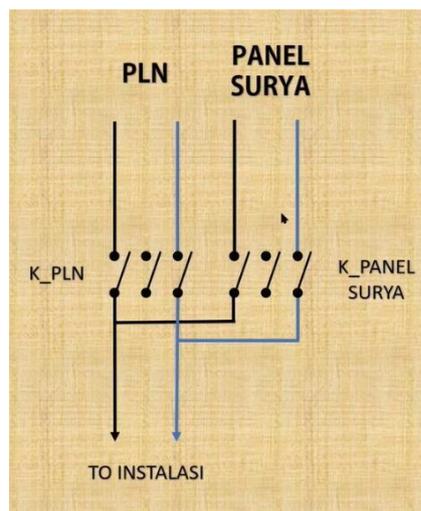
Gambar 2.13 PLTS ke ATS

Pada gambar 2.13 dapat dilihat pada keluaran yang dihasilkan PLTS setelah diubah menjadi tegangan AC tidak langsung terhubung pada beban yang akan disuplai. Namun keluaran PLTS dihubungkan pada rangkaian ATS.



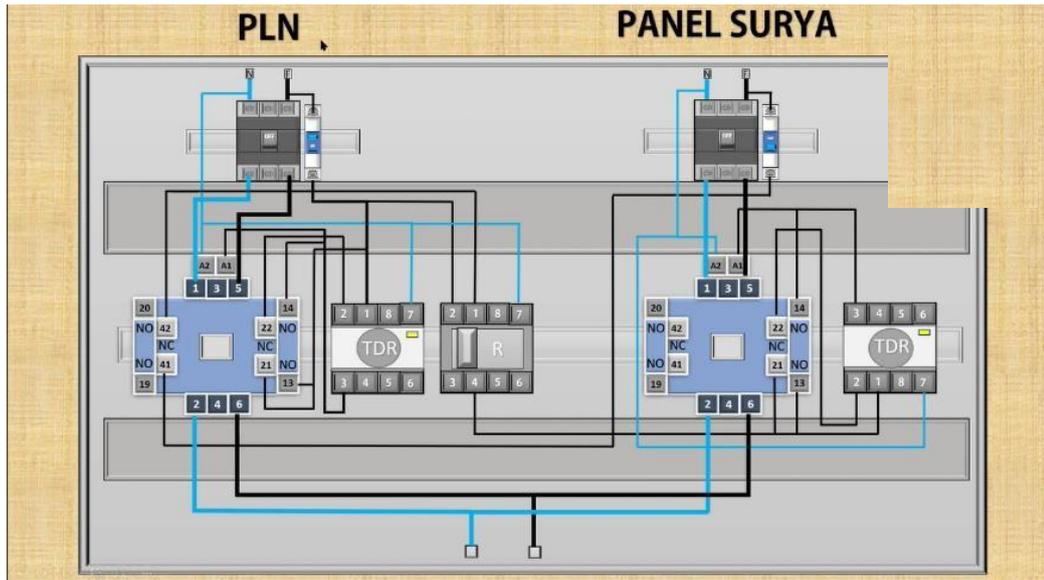
Gambar 2.14 Rangkaian Kontrol PLTS

Pada gambar 2.14 dapat dilihat rangkaian ATS, rangkaian pada ATS diatas terdiri dari 2, yaitu rangkaian dari PLN dan rangkaian dari PLTS. Dimana tugas dari ATS adalah mengganti penggunaan energi dari PLN ke PLTS ataupun sebaliknya. Dapat dilihat ATS menggunakan 2 kontaktor dan 2 TDR. Kemudian menggunakan 1 relay sebagai pemutus dan penghubung.



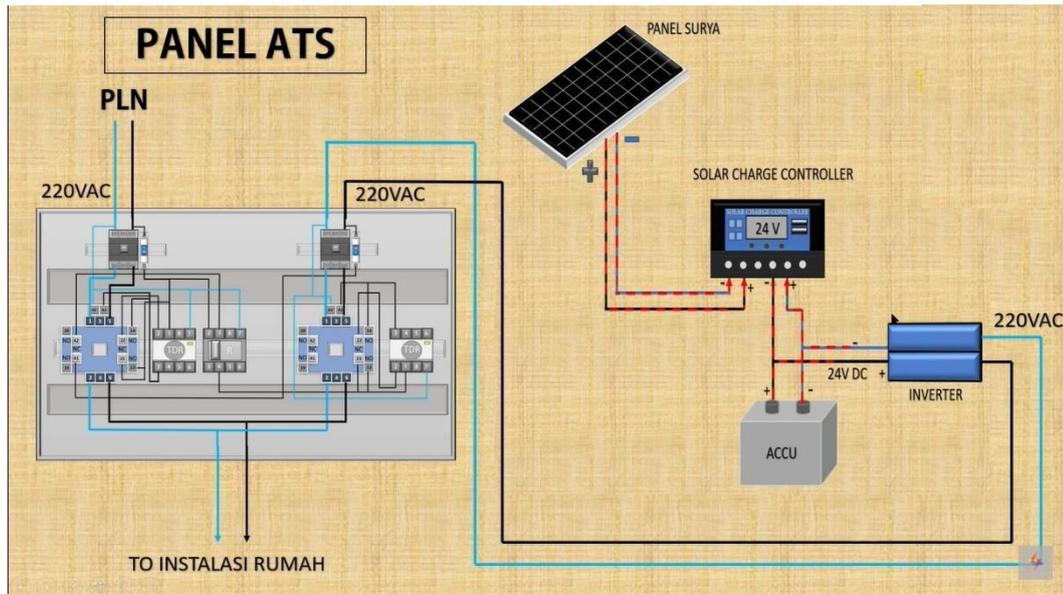
Gambar 2.15 Rangkaian Switch ATS

Pada gambar 2.15 dapat dilihat bahwa jika jaringan listrik dari PLN masih terdapat tegangan (dalam keadaan on) maka suplai dari PLTS tidak akan terhubung. Maka beban akan disuplai oleh PLN, namun jika suplai dari PLN terputus (tidak ada tegangan) maka otomatis ATS akan switch maka beban akan disuplai oleh PLTS. Dan apabila suplai dari PLN terdapat tegangan (keadaan on) maka otomatis ATS akan memutus suplai dari PLTS dan switch dikembalikan oleh PLN, maka beban akan dibebani oleh suplai dari PLN.



Gambar 2.16 One Line Diagram Kontaktor1 dan Kontaktor2 ATS

Gambar 2.16 dapat dilihat kontaktor yang digunakan pada ATS adalah sebanyak 2 unit. Dimana masing – masing kontaktor berfungsi sebagai kontrol energi yang masuk dari PLN dan PLTS.



Gambar 2.16 One Line Diagram Penggabungan energi dari PLN dan PLTS dengan ATS

Pada gambar 2.16 dapat dilihat penggabungan daya dari PLN dan PLTS yang dikontrol oleh ATS. Untuk cara kerja PLTS menggunakan 2 kontaktor untuk dapat menghubungkan dan memutus aliran daya. Pada gambar dapat dilihat ketika keadaan sumber dari PLN aktif, maka kontaktor 1 akan bekerja mengalirkan tegangan langsung ke beban. Ketika tegangan pada PLN hilang maka kontaktor 1 mati (tidak bekerja) maka tegangan yang mengalir pada kontaktor 1 mengalir kerelay dan masuk ke kontaktor 2. Apabila kontaktor 2 aktif maka tegangan yang dialirkan adalah dari inverter yang disuplai oleh PLTS. Ke-2 kontaktor dibantu dengan TDR, adapun TDR berfungsi sebagai menjeda waktu pindah antara kontaktor 1 dan 2 agar menjaga beban agar tidak langsung switch tegangan dari PLN ke PLTS. Hal ini dilakukan agar tidak terjadinya kerusakan pada beban yang ada. Namun apabila kontaktor 1 kembali mendapat aliran tegangan dari sumber PLN, maka kontaktor 2 akan tidak bekerja (memutus sumber dari PLTS) dan kontaktor 1 aktif mengalirkan tegangan langsung ke beban.

### 2.1.4 Daya Listrik

Daya Listrik atau dalam bahasa Inggris disebut dengan Electrical Power adalah jumlah energi yang diserap atau dihasilkan dalam sebuah sirkuit/rangkaian. Sumber Energi seperti Tegangan listrik akan menghasilkan daya listrik sedangkan beban yang terhubung dengannya akan menyerap daya listrik tersebut. Dengan kata lain, Daya listrik adalah tingkat konsumsi energi dalam sebuah sirkuit atau rangkaian listrik. Contoh Lampu Pijar dan Heater (Pemanas), Lampu pijar menyerap daya listrik yang diterimanya dan mengubahnya menjadi cahaya sedangkan Heater mengubah serapan daya listrik tersebut menjadi panas. Semakin tinggi nilai Watt-nya semakin tinggi pula daya listrik yang dikonsumsi. Sedangkan berdasarkan konsep usaha, yang dimaksud dengan daya listrik adalah besarnya usaha dalam memindahkan muatan per satuan waktu atau lebih singkatnya adalah Jumlah Energi Listrik yang digunakan tiap detik [19].

Daya listrik merupakan jumlah permintaan minimum yang harus dipenuhi oleh suatu sistem tenaga listrik dalam jangka waktu tertentu, misalnya dalam satuan jam menit atau bahkan hari dan bulan. Daya merupakan energi listrik yang telah dikonversi ke berbagai energi seperti mekanik, panas dan yang lainnya. Untuk menentukan daya rumus yang dapat digunakan adalah : [20]

$$P = V \times I \times \cos \phi \quad (2.5)$$

$$Q = V \times I \times \sin \phi \quad (2.6)$$

$$S = V \times I \quad (2.7)$$

Dimana :

P = Daya Aktif (Watt)

Q = Daya Reaktif (VAR) S = Daya Semu (VA)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

$\cos \phi$  = Faktor Daya (Sudut Cos)

$\sin \phi$  = Faktor Daya (Sudut Sin)

### 2.1.5 Beban Listrik

Beban listrik adalah sesuatu yang harus “dipikul” oleh pembangkit listrik. Dalam aplikasi sehari-hari dapat digambarkan bahwa beban listrik adalah peralatan yang menggunakan daya listrik agar bisa berfungsi. Contoh beban listrik dalam rumah tangga diantaranya televisi, lampu penerangan, setrika, mesin cuci, lemari es dan lain-lain. Pada keseluruhan sistem, total daya adalah jumlah semua daya aktif dan reaktif yang dipakai oleh peralatan yang menggunakan energi listrik. Jadi dalam penggunaan rumah tangga, total beban listrik adalah total semua daya yang dikonsumsi oleh peralatan listrik tersebut yang aktif, karena dalam kondisi mati peralatan tentu tersebut tidak menggunakan daya listrik.

Dalam perhitungan arus dan tegangan, beban listrik (load) digambarkan sebagai “hambatan” listrik. Artinya, beban listrik ini menghambat arus yang mengalir sehingga tidak terjadi hubung singkat. Daya yang timbul dari aliran arus inilah yang menjadi penggerak sebuah peralatan listrik agar bisa bekerja.

Adapun rumus untuk menentukan beban adalah: [20]

$$L = P \times t \quad (2.8)$$

Dimana :

P = Daya (Watt)

t = Waktu Pemakaian (Jam) L = Beban / Load (Watt/s)

### 2.1.6 Aplikasi HOMER

HOMER (Hibrid Optimization Model for Energy Renewable) merupakan perangkat lunak yang dapat mensimulasikan sistem pembangkit skala kecil untuk memudahkan evaluasi desainnya. Adapun sistem pembangkit yang disimulasikan dapat terdiri dari beberapa jenis pembangkit, baik pembangkit energi terbarukan maupun tidak, baik terinterkoneksi ataupun tidak. HOMER melakukan penyeimbangan energi pada tiap-tiap konfigurasi sistem yang dimungkinkan,

kemudian menentukan kelayakan dari konfigurasi-konfigurasi tersebut berdasarkan kebutuhan beban listrik dan parameter-parameter ekonomi [21].

HOMER ini biasa digunakan untuk simulasi desain mikro grid pada berbagai sektor, seperti pedesaan utilitas pulau, kampus, dan pangkalan militer yang terhubung dengan jaringan listrik. HOMER dapat mempertimbangkan suatu desain mikro grid baik dari sisi teknis maupun ekonomi, sehingga HOMER sangat cocok untuk dijadikan sebagai software untuk studi kelayakan [22].

Dalam penelitian ini aplikasi HOMER digunakan untuk menentukan kapasitas PLTS yang dapat dipasang untuk mensuplai beban yang telah dihitung. Aplikasi HOMER ini dapat menampilkan kapasitas PLTS sekaligus biaya pemasangannya

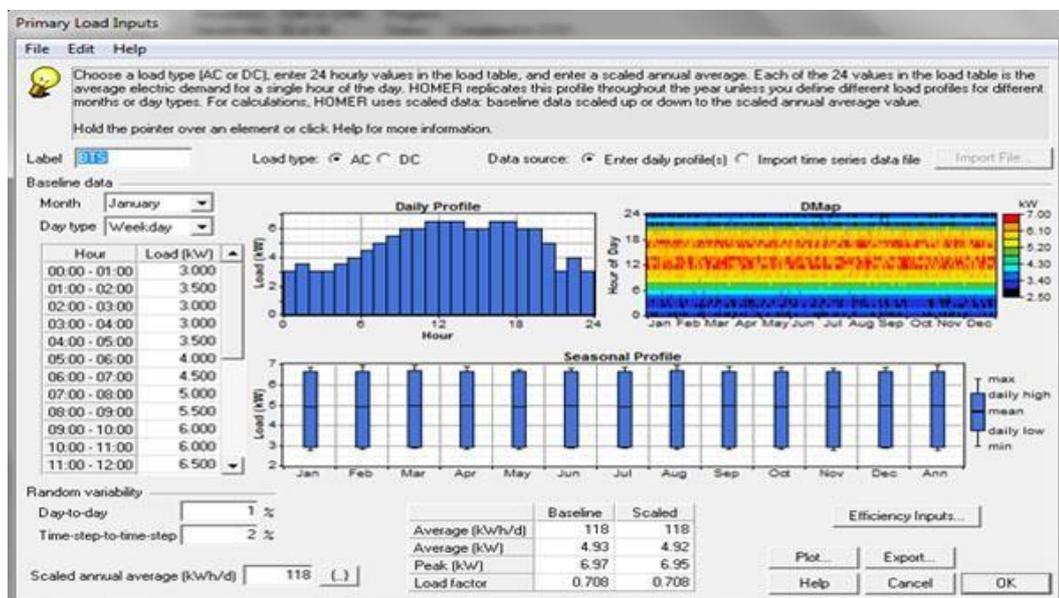


Gambar 2.13 Contoh Tampilan pada Hoomer [23]

Perangkat lunak HOMER ini dikembangkan oleh The National Renewable Energy Laboratory (NREL), USA yang bekerjasama dengan Mistaya Engineering, dimana hak ciptanya dilindungi oleh Midwest Research Institute (MRI) dan digunakan oleh Departemen Energi Amerika Serikat (DOE). HOMER digunakan untuk mendesain sistem pembangkit listrik hibrida dengan menggabungkan energi konvensional dan energi terbarukan [24]. Perangkat lunak ini melakukan perhitungan keseimbangan energi ini dalam setahun untuk setiap konfigurasi sistem yang akan dipertimbangkan. Kemudian menentukan konfigurasi yang layak, apakah dapat memenuhi kebutuhan listrik di bawah kondisi yang

ditentukan, perkiraan biaya instalasi dan sistem operasi selama masa proyek. Sistem perhitungan biaya seperti biaya modal, penggantian, dan operasi dan pemeliharaan [25].

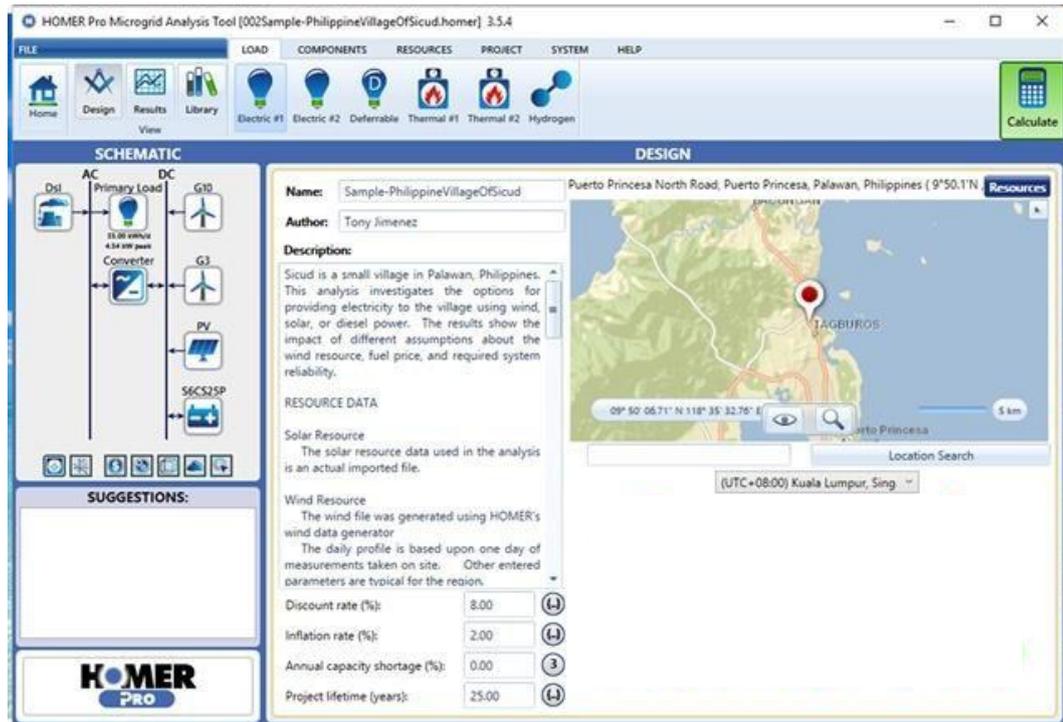
Homer menyediakan parameter yang terdiri dari 4 macam, yaitu biaya (cost), bahan bakar (fuel), jadwal pengoperasian (schedule), emisi bahan bakar (emission) pada suatu pembangkit. [26] Perangkat lunak HOMER dalam penentuan hasil simulasi mempertimbangkan kelayakan kapasitas maksimum tahunan pada sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang terdiri dari beban harian, dan komponen sistem, sebagai alat untuk menyimpan energi [27].



Gambar 2.14 Contoh Pengaturan Beban Pada Hoomer [28]

### 2.1.6.1 Cara Kerja Aplikasi HOMER

HOMER ditetapkan menjadi aplikasi perangkat lunak, yang bisa dimanfaatkan untuk pemodelan, baik untuk teknologi energi konvensional maupun terbarukan. Aplikasi kemudian lebih diperbarui dan ditingkatkan serta didistribusikan oleh HOMER Energy. Cara Kerja HOMER Pada dasarnya HOMER akan mensimulasikan sistem energi. Kemudian menunjukkan konfigurasi sistem yang dioptimalkan berdasarkan biaya, dan menyediakan analisis sensitivitas.



## 2.15 Cara Kerja Homer

HOMER mensimulasikan operasi suatu sistem dengan membuat perhitungan keseimbangan energi di setiap langkah waktu (interval) dalam setahun. Untuk setiap langkah waktu, HOMER membandingkan permintaan listrik dan panas dalam langkah waktu itu dengan energi yang dapat disuplai sistem dalam langkah waktu tersebut, dan menghitung aliran energi ke dan dari setiap komponen sistem. Untuk sistem yang menyertakan baterai atau generator bertenaga bahan bakar, HOMER juga memutuskan dalam setiap langkah waktu, bagaimana mengoperasikan generator dan apakah akan mengisi atau mengeluarkan baterai. Berikutnya, HOMER melakukan perhitungan keseimbangan energi ini untuk setiap konfigurasi sistem yang ingin di pertimbangkan. Kemudian menentukan apakah konfigurasi layak, (yaitu, apakah dapat memenuhi permintaan listrik di bawah kondisi yang di tentukan), dan memperkirakan biaya pemasangan dan pengoperasian sistem selama masa proyek. Perhitungan biaya system memperhitungkan biaya seperti modal, penggantian, operasi dan pemeliharaan, bahan bakar, dan bunga [22].

HOMER Pro memiliki dua algoritma optimasi. Algoritme pencarian kisi asli mensimulasikan semua konfigurasi sistem yang layak yang ditentukan oleh Ruang Pencarian. HOMER Optimizer baru menggunakan algoritme bebas turunan eksklusif untuk mencari sistem yang paling murah. HOMER kemudian menampilkan daftar konfigurasi, diurutkan berdasarkan biaya sekarang bersih (kadang-kadang disebut biaya siklus hidup), yang dapat Anda gunakan untuk membandingkan opsi desain sistem. Saat Anda mendefinisikan variabel sensitivitas sebagai input, HOMER mengulangi proses pengoptimalan untuk setiap variabel sensitivitas yang di tentukan. Misalnya, jika Anda mendefinisikan intensitas cahaya matahari sebagai variabel sensitivitas, HOMER mensimulasikan konfigurasi sistem untuk rentang intensitas cahaya matahari yang di tentukan [22].

### **2.1.7 Aplikasi HelioScope**

HelioScope adalah sebuah program desain berbasis web yang diperkenalkan oleh Folsom Labs yang memungkinkan para peneliti untuk melakukan simulasi lengkap perencanaan berupa tampilan 3D sehingga pengguna mampu mengetahui potensi shading ataupun performa masing-masing panel yang akan di tempatkan dari berbagai bidang posisi. Folsom Labs berdiri pada tahun 2011, dan pada saat itu belum ada aplikasi surya yang dibuat khusus yang dapat memadukan ketelitian ilmiah yang diperlukan untuk pemodelan fisika surya yang dapat diandalkan dengan pengetahuan produk teknis yang diperlukan untuk membuatnya kuat dan mudah digunakan.

Dalam penelitian ini aplikasi Heliscope dapat digunakan sebagai perencanaan rooftop ataupun atap suatu bangunan untuk dipasang pembangkit listrik tenaga surya. Dimana aplikasi ini dilengkapi dengan fitur maps tampak dari atas bangunan sehingga mempermudah dalam melakukan design PLTS pada atap. Aplikasi ini juga dapat menampilkan kapasitas daya maksimal yang dapat dipasang pada rooftop ataupun atap suatu bangunan

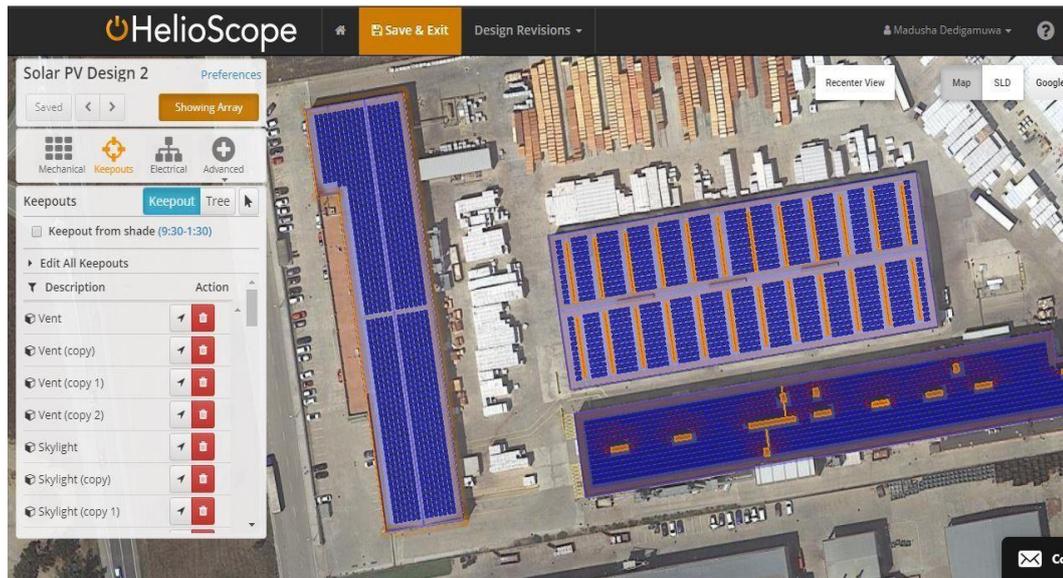
# Helioscope Review

Indepth look at Helioscope, the cloud based solar design software made for medium to large solar installations



Gambar 2.16 Tampilan Awal Helioscope

Folsom Labs mulai membuat software HelioScope, dan sejak itu telah digunakan untuk memodelkan proyek di lebih dari 200 negara dengan desain yang cukup untuk mengimbangi energi ekonomi terbesar di dunia berkali-kali. Pengguna Helioscope berkisar dari organisasi multinasional besar hingga bisnis keluarga kecil. Helioscope memiliki fitur yang sangat membantu dalam melakukan desain PLTS di sebuah atap gedung, adapun fitur yang terdapat pada software Helioscope diantaranya yaitu, melakukan desain dalam ruang lingkup 3 dimensi (3D), menghasilkan simulasi elektrikal dengan menampilkan single line diagram, membuat proposal (laporan) yang berkualitas dengan waktu yang singkat, menentukan dengan cepat tata letak modul surya berdasarkan kondisi lahan, atap dan penghalang di sekitarnya [33].



Gambar 2.17 Tampilan isi Helioscope

## 2.2 Kajian Pustaka Relevan

Penelitian tentang potensi energi matahari sebagai pembangkit listrik tenaga surya telah banyak dilakukan. Kemudian beberapa penelitian dilakukan secara manual dan ada juga yang memakai software seperti matlab, hoomer, pvsyst dan lain lain. Seperti penelitian yang dilakukan pada tahun 2018 tentang pengaruh variasi intensitas cahaya matahari. Kebutuhan akan sumber energi saat ini sangatlah mendesak dibutuhkan berbagai macam produk yang mendukung kinerja dari manusia saat ini. Pada dewasa ini semakin banyak dikembangkan sumber tenaga atau sumber energi alternatif. Salah satunya adalah menggunakan tenaga matahari. Banyak dibangun modul-modul solar sel yang dapat menyerap energi matahari dan merubahnya menjadi sumber listrik atau energi yang dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendesain dan menganalisis pembuatan modul solar cell yang diharapkan dapat mengeluarkan biaya yang seminimal mungkin yaitu dengan memanfaatkan simulasi Matlab. Pembuatan dari modul panel surya ini akan disimulasikan terlebih dahulu dengan Program Simulasi Matlab dimana disini kita dapat melakukan disain dan menganalisis perhitungan-perhitungan yang umumnya digunakan dalam pembuatan modul dari solar cell seberapa efisien model tersebut dan juga dapat mengurangi biaya pembuatan solar cell. Pembuatan simulasi

modul solar panel dimaksudkan untuk mengetahui titik kerja solar panel yang paling maksimum. Pada modul dengan memanfaatkan dua buah solar panel yang memiliki nilai irradiance 1000 pada temperatur 25<sup>0</sup> C mampu menghasilkan daya sebesar 61,2 Watt [24].

Kemudian penelitian yang memanfaatkan energi baru terbarukan untuk meningkatkan substitusi BBM yang dilakukan pada tahun 2012 menyatakan bahwa Energi merupakan kebutuhan dasar manusia, yang terus meningkat sejalan dengantingkat kehidupannya. Bahan bakar minyak/energi fosil merupakan salah satu sumberenergi yang bersifat tak terbarukan (non renewable energy sources) yang selama inimerupakan andalan untuk memenuhi kebutuhan energi di seluruh sektor kegiatan.Kekayaan sumber daya energi di Indonesia, yaitu tenaga air (Hydropower), panasbumi, gas bumi, batubara, gambut, biomassa, biogas, angin, energi laut, matahari danlainnya dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif, menggantikan ketergantunganterhadap bahan bakar minyak, yang semakin terbatas baik jumlah dan cadangannya. Bahan bakar minyak memegang posisi yang sangat dominan dalam pemenuhankebutuhan energi di dalam negeri. Harus disadari saat ini Indonesia telah mengimporminyak mentah maupun bahan bakar minyak untuk memenuhi kebutuhan tersebut.Krisis energi yang melanda dunia berdampak, tingginya harga minyak mentah dunia,berpengaruh langsung terhadap kegiatan perekonomian. Kekayaan sumber dayaenergi, khususnya sumber energi baru dan terbarukan yang kita miliki, perlu dipikirkan untuk dimanfaatkan sebagai energi alternatif, menggantikan danmengurangi peran bahan bakar minyak dalam konsumsi energi di Indonesia. Dalam rangka itu, Badan Penelitian dan Pengembangan Universitas wijaya Putramelakukan penelitian dengan kegiatan Analisis Pemanfaatan Sumber Daya EnergiAlternatif Untuk Penyediaan Energi Masyarakat di Indonesia, sebagai bahankebijakan pengelolaan pemanfaatan sumber daya energi yang ada.EnergiTerbarukanuntuk mendukung substitusi BBM [25].

Ada juga yang mengkombinasikan antara energi angin dengan cahaya matahari sebagai alternatif sumber tenaga listrik yang dilakukan pada tahun 2018. Perairan laut Sawu yang terdiri dari Pulau Kupang, Sumba, Rote, Sawu dan Timor memiliki potensi sumber daya energi terbarukan yang berasal dari angin dan

intensitas cahaya. Energi tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit listrik yang ramah lingkungan untuk industri pelayaran, termasuk kapal feri yang merupakan moda transportasi utama untuk menjamin konektivitas wilayah laut Sawu. Untuk dapat memanfaatkan energi terbarukan di kapal, maka analisa potensi angin dan cahaya matahari perlu dilakukan termasuk skema distribusi daya pada kapal feri tersebut. Penelitian ini membahas pengolahan data kecepatan angin dan intensitas cahaya yang diperoleh dari BMKG setempat. Proses perhitungan daya dilakukan dengan metode distribusi probabilitas Rayleigh untuk mengetahui nilai optimal yang dihasilkan oleh turbin angin dan modul surya yang kemudian disesuaikan dengan kebutuhan daya untuk penerangan dan navigasi pada space kapal feri eksisting. Hasil penelitian menunjukkan bahwa satu unit turbin angin dapat menghasilkan 13.3 kWh sedangkan panel surya sebesar 2.62 kWh per unit. Sehingga dengan menggunakan 4 unit turbin angin dan 56 unit panel surya sesuai dengan space yang tersedia di kapal feri eksisting, dapat menghasilkan daya sebesar 200.08 kWh yang dapat digunakan untuk suplai kebutuhan listrik untuk penerangan dan navigasi [3].

Kemudian penelitian yang dilakukan pada tahun 2012 tentang intensitas cahaya matahari terhadap keluaran panel surya. Menipis cadangan bahan bakar minyak dan batubara sebagai energy primer pembangkit listrik yang dimiliki oleh perusahaan listrik Negara serta besarnya subsidi pemerintah untuk energy listrik mendorong wacana peraturan terkait naiknya tarif dasar listrik pada tahun 2013. Penggunaan energy terbarukan merupakan alternative untuk mengurangi permintaan energy ke PLN dan pengoptimalan potensi alam. Sel surya merupakan teknologi yang mengubah cahaya matahari menjadi energy listrik. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui hubungan intensitas cahaya matahari terhadap daya keluaran pada sebuah panel sel surya. Metode penelitian ini adalah pengukuran intensitas matahari secara real dan pengukuran daya keluaran panel sel surya tersebut, adapun bahan yang digunakan adalah lumen meter digunakan untuk mengukur intensitas cahaya matahari, multimeter digunakan untuk mengukur tegangan dan arus, battery charge regulator dengan kapasitas 10 A, Panel sel surya dengan kapasitas 100 Wp, dan battery 7 Ah. Pengujian dilakukan selama 6 hari, setiap hari pengujian dimulai dari jam 07.00 – 18.00. Hasil

penelitian menunjukkan bahwa intensitas cahaya matahari tertinggi terjadi antara jam 11.00 – 13.00 dengan nilai intensitas cahaya matahari sebesar 99.900 lux – 115.800 lux, sedangkan daya keluaran sel surya tertinggi sebesar 15,53 watt dengan intensitas cahaya matahari terukur 115.800 lux [26].

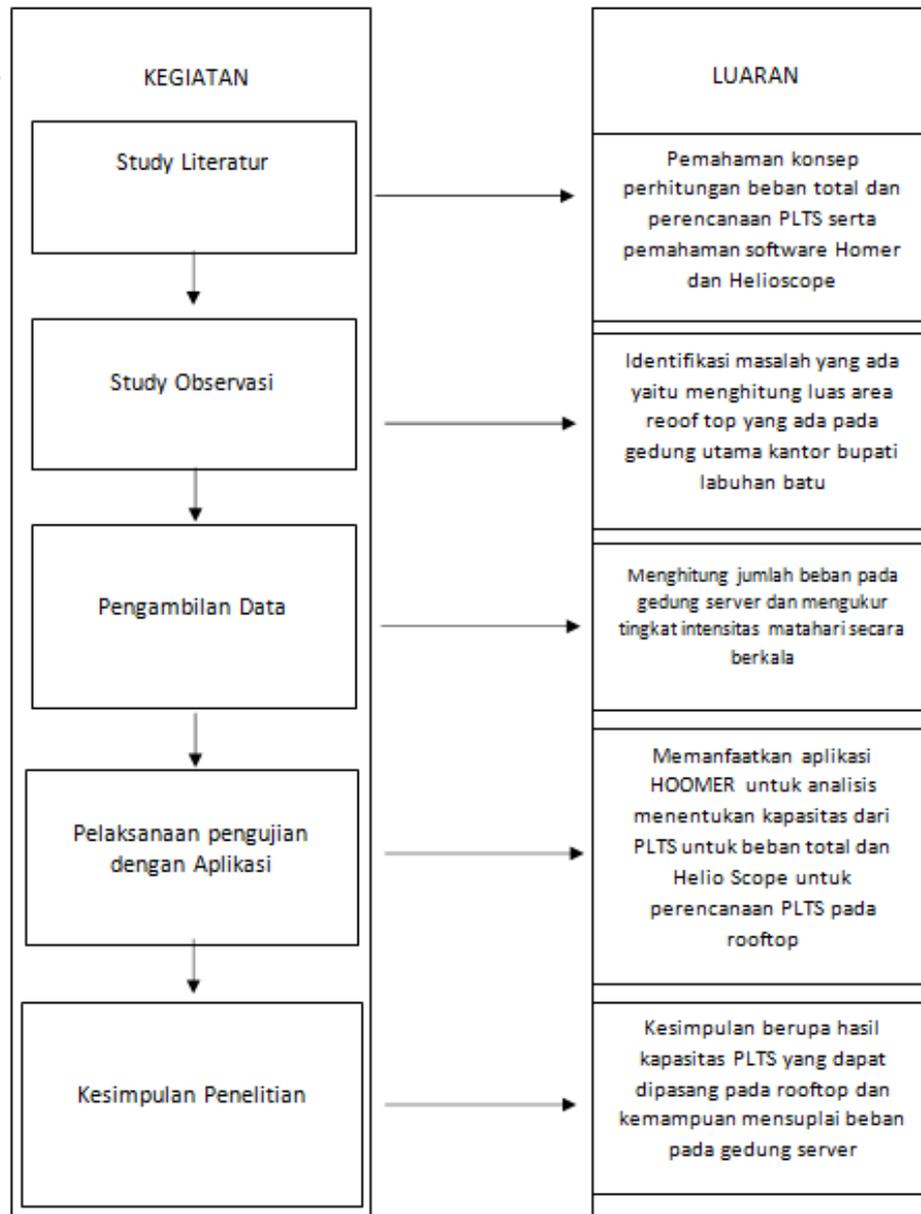
Ada juga yang memanfaatkan energi matahari sebagai suplai suatu alat yang dimanfaatkan oleh petani untuk mengeringi pupuk portable. Penelitian ini dilakukan pada tahun 2017 oleh S Aryza. Energi dari sinar matahari ditampung kemudian dikonversi menjadi energi listrik. Energi tersebut nantinya dapat digunakan untuk menjalankan berbagai macam alat elektronik mulai dari menyalakan lampu, menggerakkan motor, dan masih banyak lagi yang lainnya. Didalam penelitian menjadikan energi tenaga surya sebagai energi alternative untuk mensuplai energi ke mesin pengering pupuk portabel dalam mengatasi kebutuhan listrik rumah tangga dan juga membantu petani sehingga tidak memerlukan lagi listrik yang tersedot melalui PLN [27].

Kemudian Penelitian yang bertujuan mengembangkan inovasi teknologi pembangkit listrik bersumber dari energi matahari. Pengkonversi energi matahari menjadi energi listrik menggunakan fotovoltaiik atau sel surya. Sedangkan energi listrik yang dihasilkan disimpan dalam sebuah baterai. Manfaat dari penelitian untuk memberdayakan energi matahari secara optimal sebagai sumber energi listrik pada lampu pengatur lalu lintas. Berdasarkan percobaan dari satu modul surya 50 Wp diperoleh kuat arus pada sel surya dan kuat arus yang mengalir ke dalam baterai yang berfluktuatif besarnya. Energi listrik yang dihasilkan dari penyinaran sinar matahari selama 6 jam mampu menyalakan 4 buah lampu dengan total daya 30 watt selama 16 jam. Diharapkan dari hasil riset ini dapat diadakan penelitian lanjutan mengenai teknologi pengukuran secara realtime agar dapat memonitoring potensi energi sepanjang musim [29].

### **2.3 Kerangka Berfikir**

Untuk membantu dalam penyusunan penelitian ini, maka diperlukan adanya susunan kerangka berpikir yang jelas tahapannya. Kerangka ini merupakan langkah

– langkah yang akan dilakukan dalam penyelesaian masalah yang akan dibahas. Adapun langkah – langkah dari kerangka berpikir dalam penelitian ini akan dijelaskan pada gambar 2.18



Gambar 2.18. Kerangka Berfikir

Dari gambar 2.18 yaitu tentang kerangka berpikir yang dimulai dari study literatur yang didapat dari referensi buku, para ahli, dan jurnal – jurnal terbaru. Hal ini diperlukan guna tercapainya seluruh tahapan yang sudah disusun oleh penulis. Terkait pada study observasi dibutuhkan guna mendapatkan hasil. Sementara itu, pada tahapan pengolahan awal dibutuhkan data guna mengetahui intensitas cahaya matahari yang ada untuk di input kedalam aplikasi agar mempermudah proses analisis.

## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Pendekatan Penelitian**

Pada kota rantau parapat yang diamati oleh penulis merupakan kota yang minim sekali akan pemanfaatan energi baru terbarukan terkhususnya PLTS. Setiap daerah terkhususnya di Indonesia memiliki potensi untuk menghasilkan pembangkit listrik tenaga surya yang memanfaatkan sinar matahari. Namun penulis menganggap perlunya untuk memperkirakan terlebih dahulu menganalisis beban yang akan disuplai dan menganalisis PLTS yang dapat dipasang pada lokasi penelitian.

Perlunya terlebih dahulu menghitung beban total yang akan disuplai yang kemudian mengambil data intensitas cahaya matahari untuk dapat diinput kedalam aplikasi HOMER. Apalikasi HOMER ini dapat membantu penulis dalam menentukan berapa kapasitas PLTS yang dapat membebani beban secara keseluruhan. Adapun beban yang digunakan akan dihitung terlebih dahulu kemudian akan ditentukan beban yang akan disuplai oleh PLTS yang akan dirancang

#### **3.2. Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan langsung pada daerah tempat pengujian yaitu pada Kota Rantau Parapat pada Kantor bupati labuhan batu dan beban yang akan dihitung adalah beban gedung server yang ada pada area kantor

#### **3.3. Definisi Operasional Vvariabel**

- I = Simbol dari arus listrik ataupun arus yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga surya
- V = Simbol dari tegangan listrik ataupun tegangan keluaran yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga surya

P	=	Simbol dari daya listrik , dimana P dihasilkan dari perkalian antara tegangan (V) dan Arus Listrik (I)
Watt	=	Satuan dari daya listrik (P)
WP	=	Watt Peak artinya adalah kemampuan panel surya untuk menghasilkan daya selama matahari bersinar terik
Ah	=	Ampere Hour adalah satuan dari kapasitas baterai per jam
Lux	=	Satuan dari intensitas cahaya matahari yang diukur menggunakan alat ukur Lux Meter
W/m <sup>2</sup>	=	Satuan dari radiasi matahari
Ampere	=	Satuan dari arus listrik (I)
Volt	=	Satuan dari Tegangan Listrik (Volt)

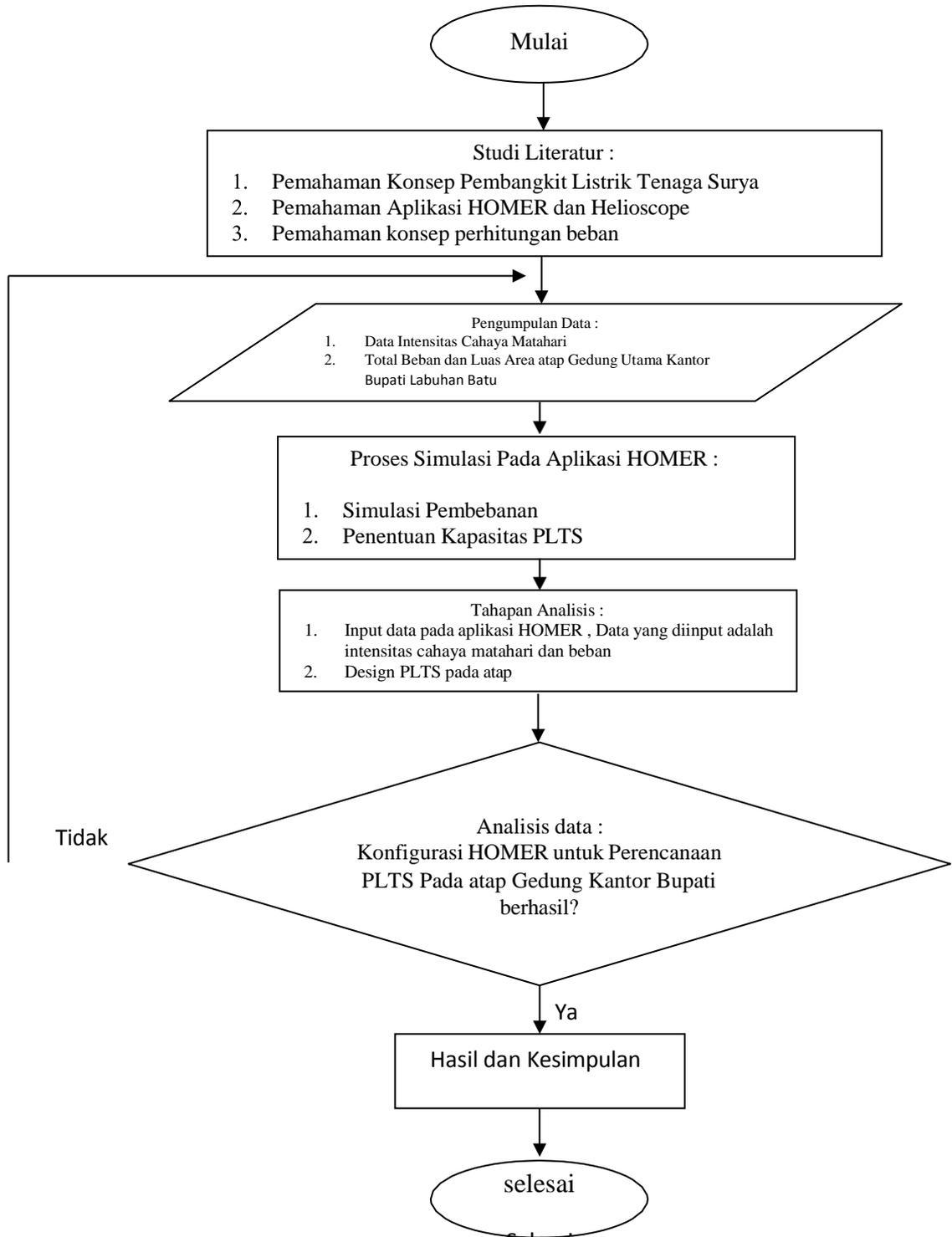
### **3.4. Teknik Pengumpulan Data**

Untuk memperoleh data secara maksimal, penelitian ini diawali dengan pengambilan data. Adapun data yang akan diambil meliputi :

- a. Intensitas Matahari
- b. Luas area rooftop gedung utama kantor bupati
- c. Total Beban pada gedung server yang akan disuplai oleh PLTS

Alat ukur untuk membantu melihat nilai intensitas cahaya matahari dibantu dengan lux meter. Kemudian data intensitas cahaya matahari akan dimasukkan kedalam aplikasi HOMER dan dimasukkan pula total beban yang akan disuplai. Pada aplikasi akan kita lihat berapa kapasitas PLTS yang mampu membebani beban dengan waktu yang dibutuhkan.

### 3.5. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Bagan Alir Penelitian

Dari diagram alir 3.4 dapat dijabarkan langkah – langkah dan alur penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mencari penelitian – penelitian sebelumnya dalam bentuk jurnal yang membahas tentang intensitas cahaya matahari, pembangkit listrik tenaga surya, pemanfaatan PLTS untuk mendukung penelitian
2. Setelah studi literatur dirasa cukup kemudian selanjutnya adalah mengambil data intensitas cahaya matahari yang telah disediakan pada software HOMER.
3. Kemudian, setelah data intensitas didapat dilanjutkan dengan menghitung total beban yang dibutuhkan,
4. Setelah beban intensitas cahaya matahari dan beban didapat selanjutnya menyiapkan aplikasi HOMER untuk membantu mendapatkan hasil.
5. Pada aplikasi ini data yang telah dikumpulkan sebelumnya diinput, setelah itu akan kita lihat berapa kapasitas PLTS yang layak untuk membebani beban yang telah kita tentukan
6. Terakhir membuat kesimpulan dan saran penelitian

### 3.6 Data Penelitian

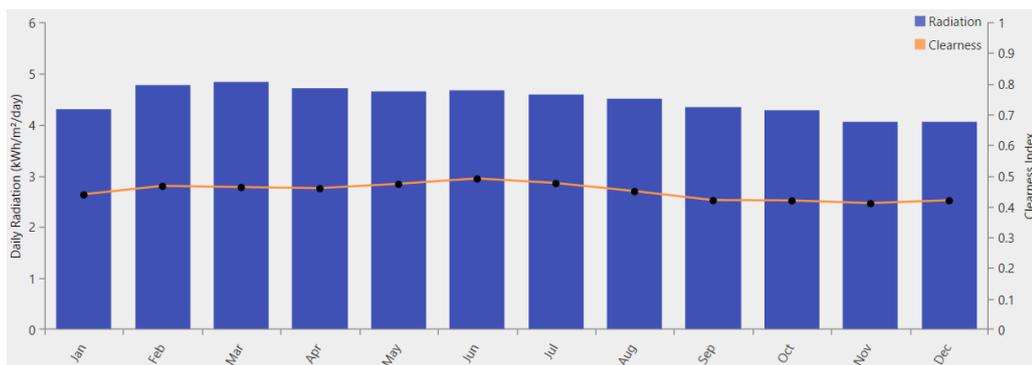
Adapun tingkat intensitas cahaya matahari didapat dari aplikasi HOMER pada daerah kantor bupati labuhan batu yaitu pada kabupaten kota Rantau Parapat dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut

Tabel 3.1 Tingkat Radiasi Cahaya Matahari Pada Kabupaten Rantau Parapat

Bulan	Clearness Index	Radiasi Matahari Harian (kWh/m <sup>2</sup> /Hari)
Jan	0,438	4,310
Feb	0,466	4,770
Mar	0,462	4,840
Apr	0,458	4,720
May	0,473	4,650

Bulan	Clearness Index	Radiasi Matahari Harian (kWh/m <sup>2</sup> /Hari)
Jun	0,490	4,670
Jul	0,475	4,580
Aug	0,449	4,510
Sep	0,420	4,340
Oct	0,419	4,290
Nov	0,410	4,050
Dec	0,419	4,050

Dari data yang diperoleh dapat dilihat tingkat radiasi matahari yang paling besar terjadi pada bulan Maret yaitu sebesar 4,840 kWh/m<sup>2</sup>/Hari dan tingkat radiasi matahari terkecil terjadi pada bulan November dan Desember yaitu sebesar 4,050 kWh/m<sup>2</sup>/Hari, Rata rata tingkat radiasi matahari pada kabupaten labuhan batu adalah 4,48 adapun grafik tingkat grafik tingkat radiasi matahari pada kabupaten labuhan batu setiap bulannya pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Grafik Radiasi Matahari Pada Kabupaten Labuhan Batu Setiap Bulannya

Data yang diperoleh dari HOMER didapat dari Prediksi NASA (Prediction of Worldwide Energy Resource POWER database), Dimana data ini diambil dan

diakumulasikan dari tahun 1983, Adapun data suhu yang diperoleh melalui aplikasi HOMER yang diambil melalui NASA pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Data Temperatur (Suhu) Pada Lokasi Penelitian

Bulan	Suhu (°C)
Jan	24.030
Feb	24.430
Mar	24.750
Apr	25.080
May	25.150
Jun	24.760
Jul	24.450
Aug	24.470
Sep	24.490
Oct	24.440
Nov	24.280
Dec	24.01

Dari data suhu pada Table 3.2 dapat dilihat bahwa suhu paling tinggi terjadi pada bulan may yaitu pada angka 25,15 oC dan suhu terendah terjadi pada bulan desember yaitu diangka 24,01 oC. rata – rata suhu pertahun pada lokasi penelitian adalah sebesar 24,53 oC. Adapun grafik suhu perbulan selama setahun pada lokasi penelitian pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Grafik Suhu pada lokasi penelitian

### **3.7 Teknik Analisis Data**

Adapun teknik analisis data pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### **1. Analisis Beban Total**

Pada analisis beban total, akan dihitung beban secara keseluruhan pada gedung server yang berada pada area kantor bupati labuhan batu. Adapun beban mencakup keseluruhan termasuk penerangan dan server yang berada pada gedung. Dimana output dari analisis ini akan didapatkan total keseluruhan daya terpakai yang digunakan pada gedung server ini selama 1 hari penuh.

#### **2. Analisis Kapasitas PLTS pada atap**

Analisis ini diawali dengan pengukuran luas areal atap dengan menggunakan software Helioscope, dimana software ini akan otomatis dapat menentukan luas gedung dan dapat merencanakan berapa kapasitas PLTS yang dapat dipasang maksimal pada area tersebut. Kemudian dapat diketahui juga total daya yang dapat dihasilkan dari PLTS pada atap gedung utama kantor bupati tersebut.

#### **3. Analisis Kemampuan PLTS mensuplai beban**

Pada tahap ini menggunakan aplikasi HOMER untuk membantuk menginput beban yang ada pada gedung server. Kemudian akan dihubungkan dengan total daya keluaran PLTS yang dirancang pada atap, akan dihitung berapa lama kemampuan PLTS bertahan untuk mensuplai beban yang ada pada gedung. Apakah pemasangan yang direncanakan efektif dan efisien.

## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Hasil Penelitian**

Pada penelitian ini akan dilakukan 3 tahap analisis, tahap pertama adalah perhitungan beban Gedung Server yang akan disuplai PLTS, tahap ke-2 adalah menghitung kapasitas PLTS yang dapat mensuplai beban yang telah dihitung dan tahap ke-3 adalah menghitung nilai ekonomis pada perencanaan PLTS yang telah dihitung. PLTS pada penelitian ini direncanakan sebagai energi alternatif pada saat beban tidak disuplai listrik oleh PLN, hal ini disebabkan karena sering terjadinya pemadaman listrik pada lokasi penelitian sehingga Gedung Server bekerja tidak maksimal.

##### **4.1.1 Data Beban**

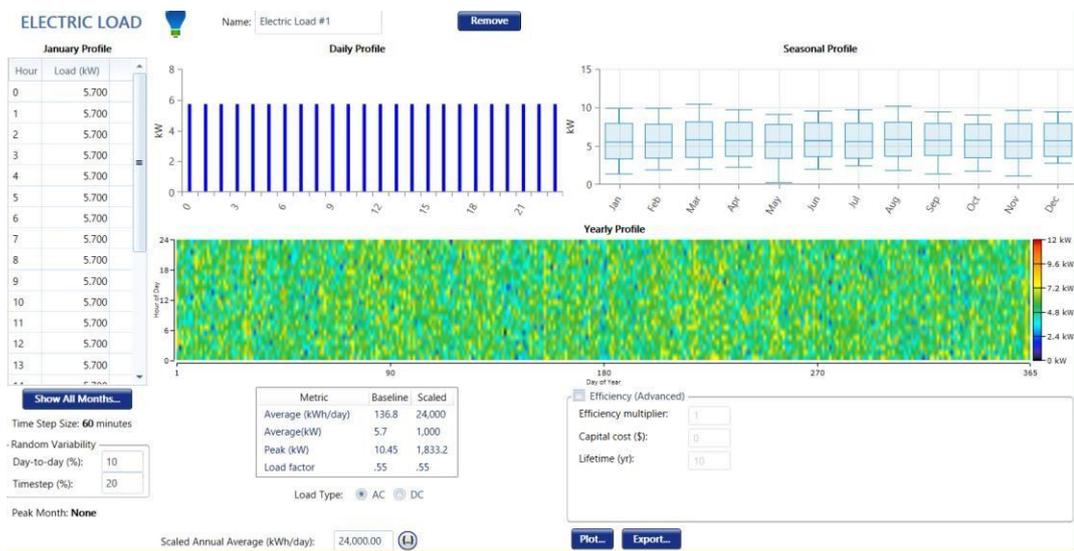
Data beban pada gedung server kantor bupati Labuhan Batu didapat melalui slip setoran pembayaran gedung selama satu bulan, dari slip setoran yang didapat melalui pihak gedung maka adapun data pembaruan tarif listrik gedung server tersebut selama satu bulan dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1 Data Slip Pembayaran Tagihan Listrik Gedung

Nama	Gedung Server Kantor Bupati Labuhan Batu
Tanggal	26 – 09 – 2022 14:27:41
Tarif/ Daya	P1/23 kVA atau 23000 VA
BL/TH	AGU22
Stand Meter	00005271 – 00009398

Nama	Gedung Server Kantor Bupati Labuhan Batu
Tagihan	Rp, 7.026.960

Dari Tabel 4.1 dapat dilihat gedung server pada kantor bupati labuhan batu berkapasitas 23.000 VA dengan tarif perbulannya adalah Rp. 7.026.950,- dari stand meter yang dilihat terdapat selisih sebesar 4.127 kWh, maka penggunaan daya pada gedung ini adalah sebesar 4.127 kWh perbulannya. Maka dari jumlah kWh yang digunakan selama satu bulan, dapat ditentukan jumlah pengeluaran daya selama 1hari adalah sebesar 136,6 Kwh dengan pengeluaran 5,7 kWh/Jam. Beban diinput kedalam aplikasi HOMER dan menghasilkan grafik sebagai berikut



Gambar 4.1 Beban Yang Akan di Suplai

Dapat dilihat pada gambar 4.1 beban yang akan disuplai merupakan gedung server yang menampung semua data – data yang ada pada kantor bupati labuhan batu. Server ini terdiri dari beberapa komputer yang memiliki spesifikasi tinggi dan kapasitas penyimpanan yang besar, dimana penggunaan daya pada gedung ini relatif stabil yaitu 5.7 kWh/Jam.

#### 4.1.2 Kapasitas PLTS

Sistem PLTS dilakukan secara simulasi menggunakan aplikasi HOMER, adapun tipe Panel Surya yang digunakan secara simulasi adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2 Spesifikasi PLTS

Maximum Power (Pmax)	280 W
Short Circuit Current (Isc)	5,86 A
Open Circuit Voltage (Voc)	22,1 V
Maximum Power Current (Impp)	5,46 A
Maximum Power Voltage (Vmpp)	18,3 V
Module Efficiency	17,64 %
Power Tolerance	3%
Maximum System Voltage	VDC 1000 V
Suhu Koefisien ;	
Pada (Isc)	0.08% C
Pada (Voc)	-0,32 % C
Pada (Pmax)	- 0,38 % C
Dimensi	1005 x 670 x 30 (cm)
Berat (Kg)	7,12 Kg

Dari tabel data spesifikasi panel surya pada tabel 4.2 dapat dilihat bahwa kapasitas panel surya perpanel adalah sebesar 280 W, Maka panel surya ini berkapasitas 280 WP. Untuk menentukan kapasitas kebutuhan panel surya sebagai sumber energi mensuplai beban yang ada digunakan persamaan :

Adapun kapasitas PLTS yang akan digunakan menyesuaikan dengan pemakaian beban, kapastias PLTS dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Jumlah Energi}}{\text{Waku Peenyinaran Maksimum}} \\ &= \frac{136600 \text{ Wh}}{4} \\ &= 34.159 \text{ Wp} \end{aligned}$$

Modul panel surya yang akan digunakan pada penelitian ini sesuai dengan tabel spesifikasi 4.1 adalah berkapasitas 280 WP per panel nya, Maka :

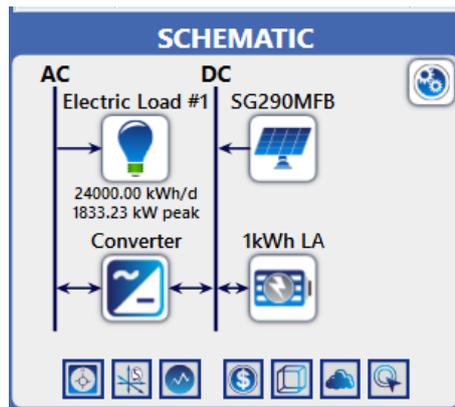
$$= \frac{34159 \text{ Wp}}{280}$$

$$= 121,96 \text{ Panel}$$

$$= \text{Dibulatkan menjadi 122 Panel dengan kapastias 280 WP}$$

### 4.1.3 Perencanaan Ekonomis PLTS

Adapun skema bus pada perencanaan PLTS untuk memenuhi kebutuhan beban pada gedung server kantor bupati labuhan batu yang menggunakan aplikasi HOMER adalah sebagai berikut :



Gambar 4.9 Skema Bus HOMER Perencanaan PLTS

Pada Gambar 4.9 skema PLTS, perangkat yang digunakan meliputi beban, converter, Panel surya dan baterai, Parameter ini dapat dilihat pada tabel 4.3

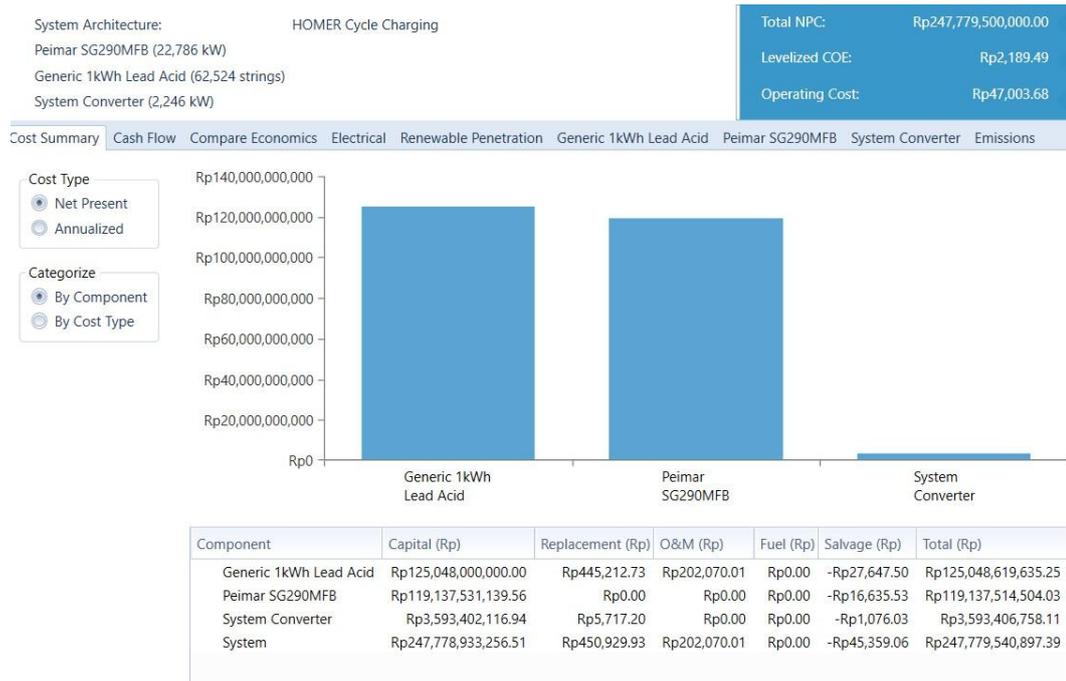
Tabel 4.3 Masukan Parameter HOMER

Input	Keterangan	Kapasitas Terpasang	Harga Total (Rp)	Masa Pakai	Operasi dan Perawatan /Tahun
Beban	Beban yang disimulasikan	136 kWh/d	-	-	0
Panel Surya	Peimar SG280MFB 280 Wp	35 kW	180.000.000	20 Tahun	0
Converter	SIE G120X 3YE30 Frequenzumrichter SINAMICS G120X	50 kW	80.000.000	20 Tahun	0
Storage Sistem	Lead Acid 1 kW	40 kW	80.000.000	10 Tahun	0

Kemudian simulasi dilakukan dengan parameter perangkat yang digunakan sesuai pada tabel 4,3 adapun hasil simulasi yang dikeluarkan pada aplikasi HOMER adalah sebagai berikut :

a. *Cost Of Energy*

Cost of Energy merupakan biaya yang dibutuhkan untuk membangun suatu pembangkit listrik dengan spesifikasi yang dibutuhkan dan direncanakan, Adapun tabel biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan PLTS keluaran software HOMER adalah sebagai berikut :



Gambar 4.3 Cost of Energy

Dapat dilihat bahwa biaya keseluruhan pembangunan sistem pembangkit listrik tenaga bayu berkapasitas 35 KW adalah sebesar Rp. 247.779.900,- Dimana total nilai biaya produksi jika menggunakan pembangkit ini adalah sebesar Rp. 2.189,- dapat dilihat pada gambar biaya pembangunan PLTS banyak memakan biaya pada peralatan panel surya, baterai dan converter

b. Daya Keluaran PLTS

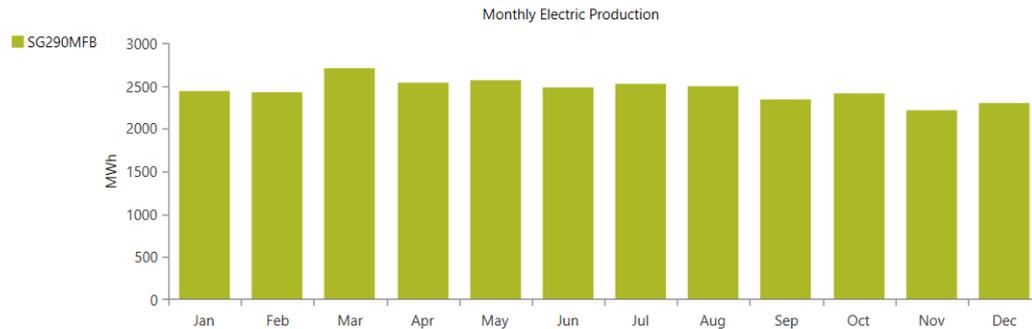
Daya keluaran PLTB pada simulasi yang dilakukan pada HOMER dapat dilihat pada gambar berikut :

Production	kWh/yr	%
Peimar SG290MFB	29,441,524	100
Total	29,441,524	100

Consumption	kWh/yr	%
AC Primary Load	8,754,020	100
DC Primary Load	0	0
Deferrable Load	0	0
Total	8,754,020	100

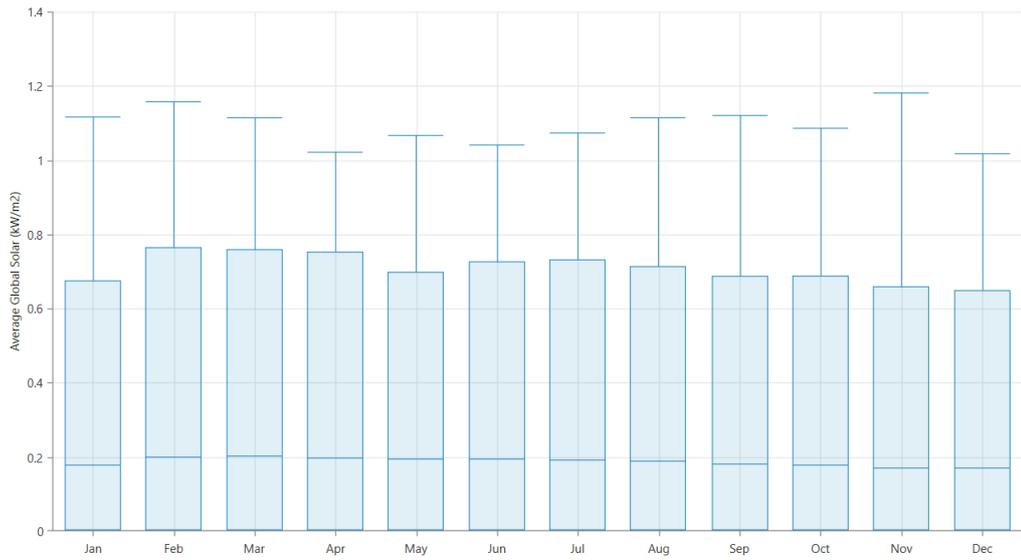
Quantity	kWh/yr	%
Excess Electricity	19,006,069	64.6
Unmet Electric Load	5,980	0.0683
Capacity Shortage	8,702	0.0993

Quantity	Value	Units
Renewable Fraction	100	%
Max. Renew. Penetration	4,783	%



Gambar 4.4 Daya Keluaran PLTB

Dapat dilihat pada gambar 4,5 pada grafik keluaran daya pada PLTS, Daya keluaran pada PLTS dapat dilihat relative stabil pada grafik yang ditampilkan dalam simulasi menggunakan aplikasi HOMER. Namun daya keluaran paling tinggi terjadi pada bulan Maret yang berbanding lurus dengan radiasi matahari yang dihasilkan pada bulan tersebut merupakan tingkat yang paling besar dibandingkan bulan yang lain. Pada grafik yang ditampilkan dapat dilihat dalam setahun PLTS dapat memproduksi listrik sebesar sekitar 29 Juta kWh/Tahun.



Gambar 4.5 Daya Keluaran Setiap Bulannya

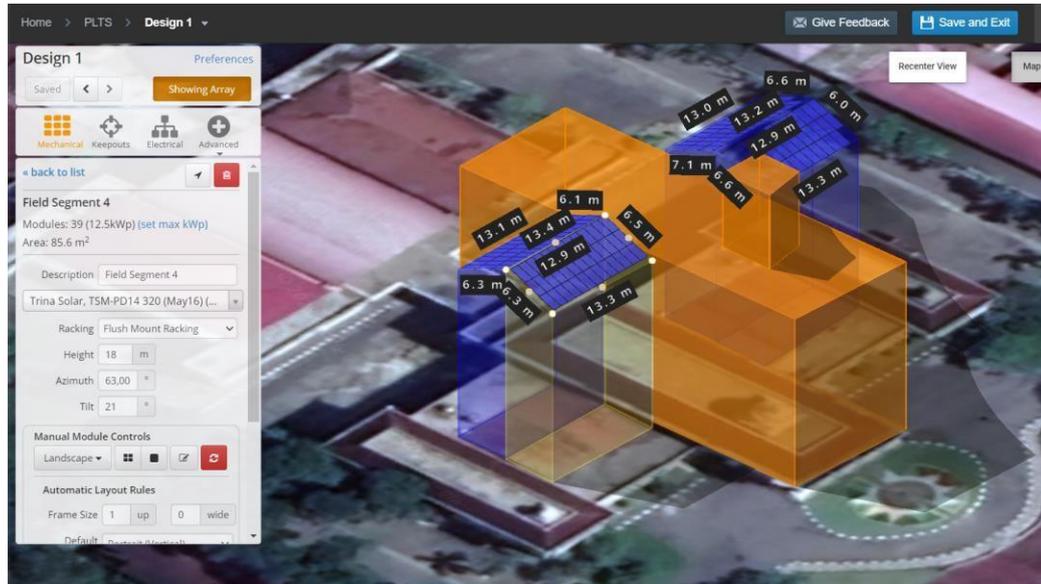
Dari estimasi daya keluaran yang dihasilkan ternyata daerah labuhan batu sangat berpotensi untuk dimanfaatkan pembangkit listrik tenaga surya. Dapat dilihat dari keluaran PLTS pada setiap bulannya relative stabil dan tinggi. Dari hasil simulasi yang dilakukan adapun tabel hasil dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut ini :

Tabel 4.4 Hasil Simulasi HOMER

Beban	Daya Keluaran PLTS	Biaya Produksi PLTS Rp/kWh	Net Present Cost (Rp)
136 kWh/hari	29.000.000 kWh/Tahun	2.189	240.000.000

## 4.2 Pembahasan

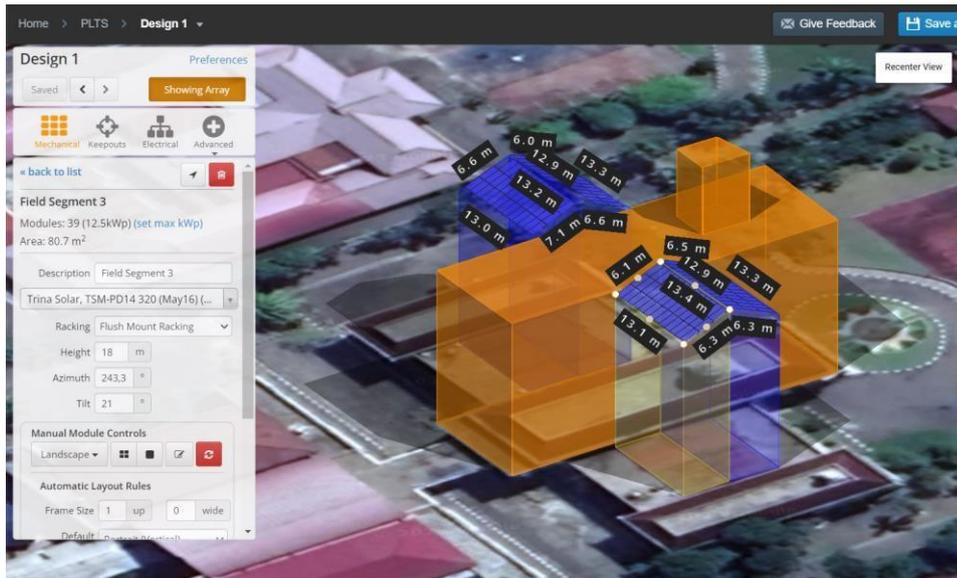
Pada gedung kantor bupati labuhan batu, untuk mensimulasikan pemasangan panel surya digunakan 4 sisi atap yang berada pada gedung utama kantor bupati. Adapun gambar sisi pertama yang disimulasikan menggunakan



aplikasi HelioScope adalah :

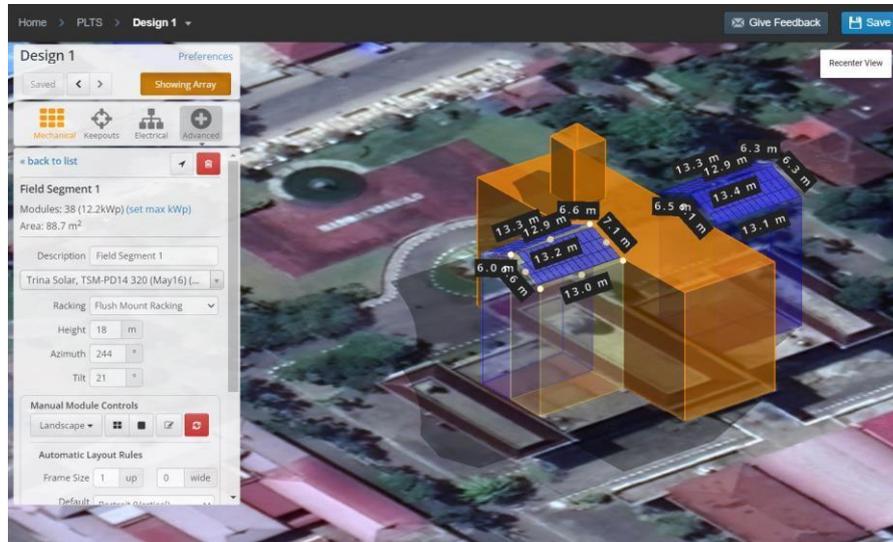
Gambar 4.6 Sisi 1 Rooftop Kantor Bupati Labuhan Batu

Pada sisi ke-1 dapat dilihat luas area yang akan dipasang panel surya adalah 85,6 m<sup>2</sup>. Dimana dengan luas tersebut dapat menampung panel surya dengan kapasitas 280 WP sebanyak 39 Modul dengan total daya yaitu 12,5 KWp. Selanjutnya pada sisi ke-2 seperti gambar berikut :



Gambar 4.7 Sisi 1 Rooftop Kantor Bupati Labuhan Batu

Pada sisi ke-2 rooftop kantor bupati labuhan batu luas area sebesar 80,7m<sup>2</sup> dan dapat dipasang panel surya dengan kapasitas 280 WP sebanyak 39 Modul dengan daya keluaran sebesar 12,5 KWp. Selanjutnya pada sisi ke-3 seperti pada gambar berikut :



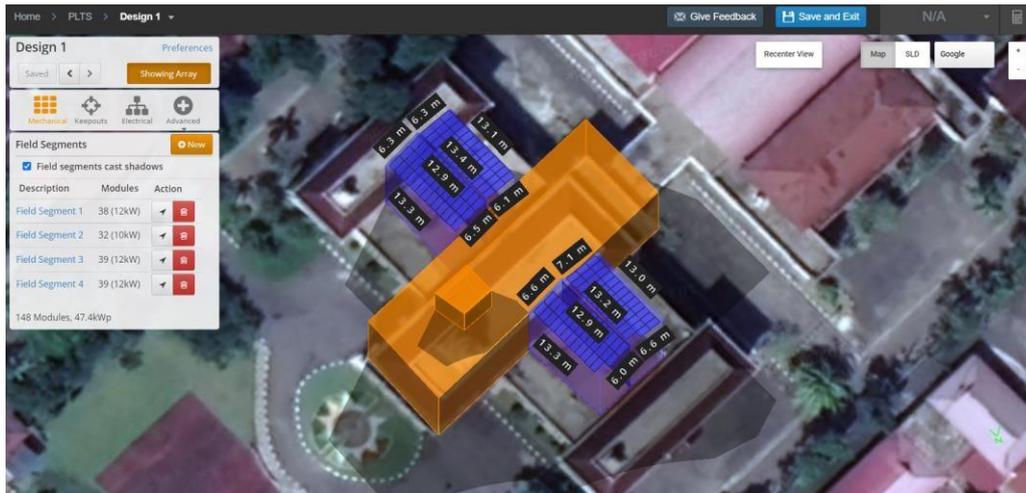
Gambar 4.8 Sisi 3 Rooftop Kantor Bupati Labuhan Batu

Pada sisi ke-3 luas area atap adalah sebesar 88,7m<sup>2</sup> dengan kapasitas modul yang dapat terpasang adalah sebanyak 38 Modul dengan kapasitas daya keluaran sebesar 12,2 KWp. Kemudian sisi ke-4 atap kantor bupati labuhan batu :



Gambar 4.9 Sisi 4 Rooftop Kantor Bupati Labuhan Batu

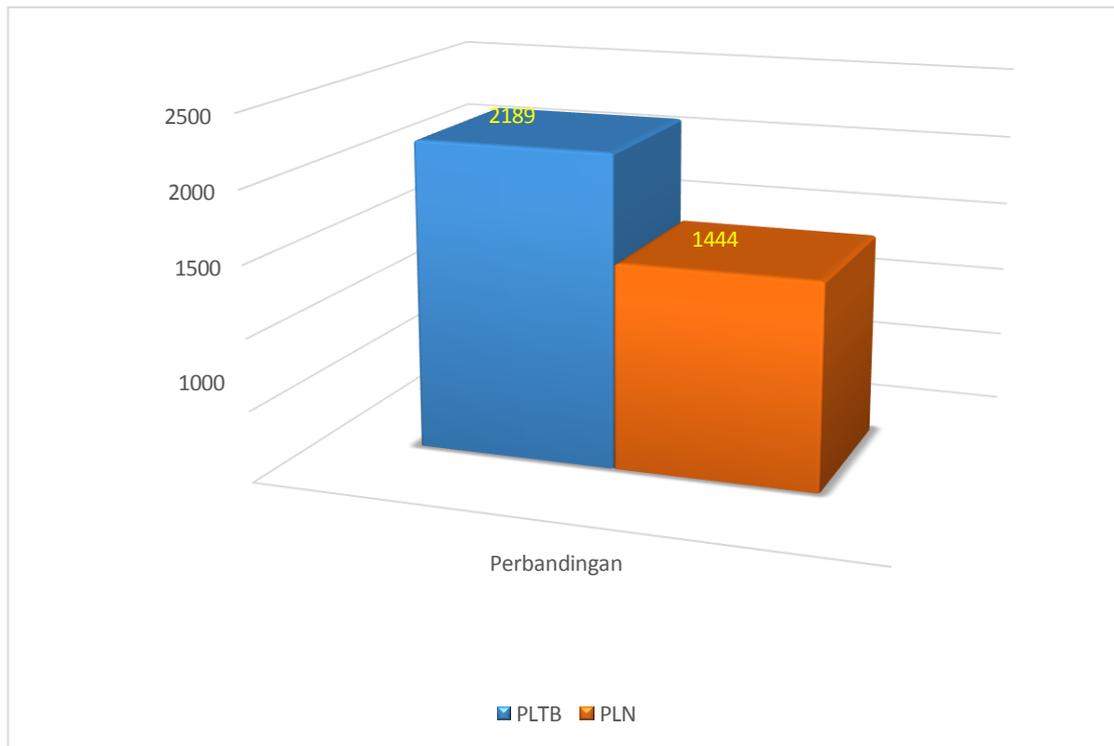
Pada sisi ke-4 luas area pada atap adalah sebesar 83,9m<sup>2</sup> dan modul yang dapat terpasang pada luas atap adalah 32 Modul dengan kapastias daya keluaran 10,2 kWp. Dari ke-4 sisi rooftop apabila diakumulasikan maka total panel surya yang dapat dipasang pada rooftop kantor bupati labuhan batu adalah sebanyak 148 Modul dengan kapastias total 47,4 KWp.



Gambar 4.8 Keseluruhan Atap Gedung Kantor Bupati Labuhan Batu

Menurut hasil perhitungan pada sub bab kapasitas PLTS, didapat banyaknya PLTS dengan kapasitas 280 WP yang harus dipasang agar mampu mensuplai beban pada gedung server adalah sebesar 122 Modul, sedangkan pada gedung bupati labuhan batu dapat dipasang 148 Modul PLTS. Maka dari ini rooftop gedung bupati labuhan batu memadai untuk dipasang PLTS guna mensuplai beban yang ada pada gedung server.

Berdasarkan simulasi yang dilakukan COE dari simulasi PLTS pada kecamatan Blangkejeran Kabupaten Gayo Lues adalah sebesar Rp. 2.189 / kWh sedangkan tarif dasar penjualan listrik oleh PT. PLN terhadap masyarakat adalah non-subsidi sebesar Rp. 1.444 / kWh, maka adapun perbandingan COE PLTB dan PT. PLN adalah sebagai berikut :



Berdasarkan perbandingan pada grafik di atas dapat disimpulkan biaya produksi pembangkit listrik tenaga surya pada kantor bupati labuhan batu untuk mensuplai beban Gedung server relatif lebih mahal di bandingkan dengan tarif dasar listrik yang ditetapkan oleh PT. PLN, Maka jika dilihat dari sisi ekonomi tentu saja belum potensial dikarenakan dengan dana awal yang besar ternyata biaya per kWh yang dibutuhkan juga relative besar, Faktor faktor yang mempengaruhi tingginya harga produksi listrik setiap kWh yakni karena nilai investasi yang relatif mahal, namun jika dilihat dari sisi ketersediaan energi fosil serta keberlangsungan masa depan umat manusia maka perencanaan PLTS pada rooftop Gedung bupati ini dapat lebih dipertimbangkan sebagai alternatif lokasi perencanaan pembangkit energi terbarukan

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Adapun total beban pada Gedung server kantor bupati labuhan batu yang disuplai oleh pembangkit listrik tenaga surya adalah sebesar 5700 Watt/Jam dan sebesar 136,6 kWh/ Harinya.
2. Kapasitas panel surya yang mampu mensuplai total beban tersebut adalah sebesar 35159 WP dengan banyak nya jumlah panel sebesar 280 WP adalah sebanyak 121,69 yang dikenakan menjadi 122 Panel surya yang mampu dipasang pada rooftop kantor bupati labuhan batu setelah dilakukan simulasi menggunakan Helioscope.
3. COE ataupun modal awal yang dibutuhkan untuk membangun system PLTS ini adalah sebesar Rp. 240.000.000,- dengan biaya produksi daya listrik per kWh adalah sebesar Rp.2.189/kWh nya. Hal ini relative mahal dibandingkan biaya dari PLN yaitu Rp.1.444.

#### **5.1 Saran**

1. Dapat menggunakan jenis aplikasi perencanaan energi baru terbarukan yang berbeda agar mendapatkan perbandingan
2. Merencanakan pembangkit listrik energi baru terbarukan dengan jenis yang berbeda seperti angin, air dan lain lain.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Martawati, “Analisis Simulasi Pengaruh Variasi Intensitas Cahaya Terhadap Daya Dari Panel Surya,” *J. Eltek*, vol. 16, no. 1, p. 125, 2018, doi: 10.33795/eltek.v16i1.92.
- [2] I. Kholiq, “Editorial Board,” *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, vol. 4, no. 1, p. i, 2012, doi: 10.1016/s1877-3435(12)00021-8.
- [3] W. Setiawan, R. Hermawan, and S. Suardi, “Analisa Potensi Angin Dan Cahaya Matahari Sebagai Alternatif Sumber Tenaga Listrik Di Wilayah Laut Sawu,” *JST (Jurnal Sains Ter.)*, vol. 4, no. 1, pp. 57–62, 2018, doi: 10.32487/jst.v4i1.453.
- [4] H. Asy’ari, Jatmiko, and Angga, “Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Sel Surya,” *Simp. Nas. RAPI XI FT UMS*, pp. 52–57, 2012.
- [5] S. Aryza, H. Hermansyah, A. P. U. Siahaan, S. Suherman, and Z. Lubis, “Implementasi Energi Surya Sebagai Sumber Suplai Alat Pengereng Pupuk Petani Portabel,” *It J. Res. Dev.*, vol. 2, no. 1, pp. 12–18, 2017, doi: 10.25299/itjrd.2017.vol2(1).642.
- [6] E. F. DA COSTA, “No Title,” *Univ. Fed. Juiz Fora Curso*, vol. 2, no. 2005, pp. 1–12, 2010.
- [7] W. A. . Silalahi, “Analisis Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari dan Suhu Permukaan Panel Surya Terhadap Energi yang Dihasilkan,” *Kumpul. Karya Ilm. Mhs. Fak. sains dan Tekhnologi*, vol. 2, no. 2, p. 83, 2021.
- [8] M. Yustiningsih, “Intensitas Cahaya dan Efisiensi Fotosintesis pada Tanaman Naungan dan Tanaman Terpapar Cahaya Langsung,” *Bio-Edu J. Pendidik. Biol.*, vol. 4, no. 2, pp. 44–49, 2019, doi: 10.32938/jbe.v4i2.385.
- [9] S. Yuliananda, G. Sarya, and R. R. Hastijanti, “Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya,” *J. Pengabd. LPPM Untag Surabaya Nop.*, vol. 01, no. 02, pp. 193–202, 2015.
- [10] R. A. Andriansyah, “Lux Meter sebagai Alat Bantu & Alat Ukur Industri,” p. 6, 2017, [Online]. Available: [https://mahasiswa.yai.ac.id/v5/data\\_mhs/tugas/1844290025/01Lux Meter sebagai Alat ukur & Alat Bantu Industri.pdf](https://mahasiswa.yai.ac.id/v5/data_mhs/tugas/1844290025/01Lux%20Meter%20sebagai%20Alat%20ukur%20&%20Alat%20Bantu%20Industri.pdf).

- [11] B. H. Purwoto, Jatmiko, M. A. F, and I. F. Huda, "Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber," *Emitor*, vol. 18, no. 1, pp. 10–14, 2018, [Online]. Available: <https://journals.ums.ac.id/index.php/emitor/article/view/6251>.
- [12] D. Dzulfikar and W. Broto, "Optimalisasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga," vol. V, pp. SNF2016-ERE-73-SNF2016-ERE-76, 2016, doi: 10.21009/0305020614.
- [13] T. Alamsyah, A. Hiendro, and Z. Abidin, "Analisis Potensi Energi Matahari Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Panel Mono-Crystalline dan Poly-Crystalline Di Kota Pontianak dan Sekitarnya," *J. Tek. Elektron.*, p. 10, 2019.
- [14] M. Rif, S. Hp, M. Shidiq, R. Yuwono, and H. Suyono, "165-285-1-Pb," vol. 6, no. 1, pp. 44–48, 2012.
- [15] T. Haryanto, "Perancangan Energi Terbarukan Solar Panel Untuk Essential Load Dengan Sistem Switch," *J. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 1, p. 43, 2021, doi: 10.22441/jtm.v10i1.4779.
- [16] R. M. Hamid, R. Rizky, M. Amin, and I. B. Dharmawan, "Rancang Bangun Charger Baterai Untuk Kebutuhan UMKM," *JTT (Jurnal Teknol. Terpadu)*, vol. 4, no. 2, p. 130, 2016, doi: 10.32487/jtt.v4i2.175.
- [17] C. W. Retno Aita Diantari, Erlina, "Studi Penyimpanan Energi Pada Baterai PLTS," *Energi & Kelistrikan*, vol. 9, no. 2, pp. 120–125, 2017.
- [18] Y. A. Sinaga, A. S. Samosir, and A. Haris, "Rancang Bangun Inverter 1 Phasa dengan Kontrol Pembangkit Pulse Width Modulation ( PWM )," *Electrician*, vol. 11, no. 2, pp. 81–90, 2017.
- [19] R. Mundus, K. H. Khwee, and A. Hiendro, "Analisis Daya Keluaran yang dapat dihasilkan Oleh Pemabngkit Listrik Tenaga Surya Berkapasitas 1500 WP Studi Kasus : Universitas Tanjung Pura," *J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, vol. 2, no. 1, pp. 227–233, 2019.
- [20] A. Wahid. Ir. Junaidi MSc, Dr. Ir. H. Iqbal Arsyad MT 2019 "Analisis Kapasitas Dan Kebutuhan Daya Listrik Untuk Menghemat Penggunaan Energi Listrik di Fakultas Teknik Universitas Tanjung Pura" *Jurnal Program Studi Teknik Elektro Tanjung Pura Pontianak*.
- [21] Alvianingsih, Ginan, and Julius Christian Hasiholan Simanjuntak. 2021. "Analisis Tekno-Ekonomi Hibrid Sistem PLTD PLTS Di Pulau Gersik, Belitung Menggunakan Perangkat Lunak Homer." *Sutet* 11(1): 1–12.

- [22] Bachtiar, Ibnu Kahfi, and Mhd. Syafik. 2016. "Rancangan Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Skala Rumah Tangga Menggunakan Software HOMER Untuk Masyarakat Kelurahan Pulau Terong Kecamatan Belakang Padang Kota Batam." *Jurnal Sustainable* 5(2): 17–22.
- [23] Chamdareno, Prian Gagani, and Hamzah Hilal. 2018. "Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid PLTD-PLTS Di Pulau Tunda Serang Banten." *RESISTOR (elektRONika kEndali telekomunikaSI tenaga liSTrik kOmputeR)* 1(1): 35.
- [24] Victor Manulang, Agung Nugroho, Enda Wista 2020. "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Software Homer Di Departemen Teknik Industri Universitas Diponegoro" *Transient*, Vol.9, No.2, Juni 2020, e-ISSN:2685-0206
- [25] Manullang Tua Ragidup, Nugroho Agung, and Sinuraya Wisata Enda. 2020. "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Software Homer Di Departemen Teknik Industri Universitas Diponegoro." 9(2): 148–56.
- [26] Windarta, Jaka et al. 2019. "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Berbasis Homer Di SMA Negeri 6 Surakarta Sebagai Sekolah Hemat Energi Dan Ramah Lingkungan." *Prosiding Seminar Nasional MIPA 2019 Universitas Tidar*: 21–36.
- [27] Wurangian, Jufo A., Meita Rumbayan, and Novi M. Tulung. 2021. "Jurnal\_Skripsi\_-\_Jufo\_Wurangian Perancangan Solar Home System Menggunakan." *Jurusan Teknik Elektro*: 1–7.
- [28] Yogyakarta, S M A Muhammadiyah. 2020. "Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Pln Di."
- [29] Mohammad Hafidz ;, Sigit Sukmajati. 2015. "Perancangan Dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 10 Mw on Grid Di Yogyakarta." *Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik PLN 7(JURNAL ENERGI & KELISTRIKAN VOL. 7 NO. 1, JANUARI-MEI 2015)*: 49.
- [30] Pramudita, Brahmantya Aji, Bandiyah Sri Aprillia, and Mohamad Ramdhani. 2021. "Analisis Ekonomi on Grid PLTS Untuk Rumah 2200 VA." *Jurnal Listrik, Instrumentasi dan Elektronika Terapan (JuLIET)* 1(2): 23–27.

- [31] Andrian, Infa, and Abdul Natsir. “Perancangan Automatic Transfer Switch Pada Sistem Hybrid PLTS On-Grid Dengan PLTB Berbasis Mikrokontroler Design Of Automatic Transfer Switch On Hybrid Solar Power Plant On-Grid With Wind Power Plant System Based On Microcontroller.”
- [32] Lazuardi, Iqbal Aulia, Imam Wahyudi Farid, and Ciptian Weried Priananda. 2021. “Automatic Transfer Switch Dilengkapi Fitur Monitoring Website Pada On-Grid Solar Home System.” *Jurnal Teknik ITS* 10(2).
- [33] Gede, nyoman, Ida Ayu. 2021. “Perancangan PLTS Rooftop berkapasitas 1 KW menggunakan Helioscope.” *Jurnal Spektrum* Vol.8 No.2 Juni 2021
- [34] Oge Masdar. 2018. “Perancangan Sistem PLTS untuk Suplai Beban Pompa Air Menara Iqra Kampus Unismuh Makassar.” *Jurnal Program Studi Teknik Elektro*, Vol 1 1-8
- [35] Suriadi, Mahdi Syukri. 2010 “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpadu Menggunakan Software PVSYST Pada Komplek Perumahan di Banda Aceh.” *Jurnal Rekayasa Elektrikal* Vol.9, No.2 Oktober 2010
- [36] Victor Jubilee “Perancangan Teknis dan Ekonomis PLTS On-Grid 100,6 kwh menggunakan homer di Breeze Tower Bintaro Plaza Residences” **FTI-Usakti Jakarta 2020; Energy resources;Electrical engineerin**