

**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN TEKNIS DAN EKONOMIS PLTS UNTUK MENSUPLAI  
BEBAN RUMAH TANGGA KAPASITAS 1300 VA  
DI KEC. BUNTU PANE KAB. ASAHAN**

Oleh :

**RAHMAT FITRAH DAULAY**

**2107220034**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2026**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Rahmat Fitrah Daulay

NPM : 2107220034

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Perencanaan Teknis Dan Ekonomis PLTS Untuk Mensuplay Beban Rumah Tangga Kapasitas 1300 VA Di Kec. Buntu Pane Kab. Asahan

Bidang Ilmu : Energi Baru Terbarukan

Telah Berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 7 Mei 2026

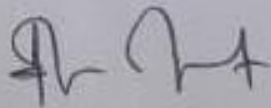
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I



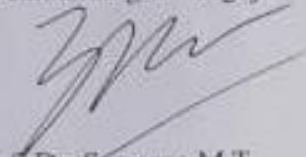
Noorly Evalina, S.T., M.T

Dosen Pembanding I / Penguji



Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd

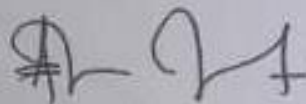
Dosen Pembanding II / Peguji



Prof. Dr. Suwarno M.T

Program Studi Teknik Elektro

Ketua,



Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Rahmat Fitrah Daulay  
Tempat / Tanggal Lahir : Aek Belu / 04 Desember 2002  
NPM : 2107220034  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

### **"PERENCANAAN TEKNIS DAN EKONOMIS PLTS UNTUK MENSUPLAI BEBAN RUMAH TANGGA KAPASITAS 1300 VA DI KEC. BUNTU PANE KAB. ASAHAN"**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 7 Mei 2026

Saya yang menyatakan,



Rahmat Fitrah Daulay

## ABSTRAK

Peningkatan kebutuhan energi listrik yang tidak selalu diimbangi dengan ketersediaan pasokan mendorong pemanfaatan energi terbarukan, salah satunya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kebutuhan energi listrik rumah tangga, merancang kapasitas sistem PLTS, serta mengevaluasi kelayakan teknis dan ekonomis penerapannya pada rumah berkapasitas 1300 VA di Kecamatan Buntu Pane, Kabupaten Asahan. Metode penelitian dilakukan dengan menghitung total beban listrik harian berdasarkan pola pemakaian (load profile), kemudian menentukan kapasitas PLTS menggunakan pendekatan Equivalent Sun Hours (ESH) serta memperhitungkan rugi-rugi sistem. Analisis ekonomis dilakukan dengan parameter Net Present Cost (NPC), Levelized Cost of Energy (LCOE), dan perbandingan terhadap tarif listrik PLN. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kebutuhan energi listrik rumah tangga sebesar 7,23 kWh per hari atau 2.638,95 kWh per tahun. Kapasitas PLTS yang direkomendasikan sebesar  $\pm 2$  kWp yang terdiri dari 20 modul panel surya 100 Wp dan sistem penyimpanan 10 kWh. Secara teknis, sistem mampu memenuhi kebutuhan energi dengan tingkat keandalan yang baik. Dari sisi ekonomis, diperoleh investasi awal sebesar Rp50.000.000 dengan nilai NPC sekitar Rp71,1 juta dan LCOE sebesar Rp2.523/kWh, yang masih lebih tinggi dibandingkan tarif listrik PLN. Dengan demikian, penerapan PLTS pada rumah tangga 1300 VA dinilai layak secara teknis, namun secara ekonomis masih belum sepenuhnya kompetitif. Meskipun demikian, PLTS tetap memiliki nilai strategis dalam mendukung keberlanjutan energi, mengurangi emisi, serta meningkatkan kemandirian dan keandalan pasokan listrik.

***Kata kunci:*** PLTS, energi terbarukan, kebutuhan energi, LCOE, NPC, rumah tangga

## ABSTRACT

*The increasing demand for electrical energy, which is not always balanced by adequate supply, encourages the utilization of renewable energy sources, particularly Solar Power Plants (SPP). This study aims to analyze household electricity demand, design the capacity of a solar power system, and evaluate its technical and economic feasibility for a 1300 VA household in Buntu Pane District, Asahan Regency. The research method involves calculating daily electrical load based on the load profile, determining the required solar capacity using the Equivalent Sun Hours (ESH) approach, and considering system losses. The economic analysis is conducted using Net Present Cost (NPC), Levelized Cost of Energy (LCOE), and comparison with the national electricity tariff. The results indicate that the household energy demand is 7.23 kWh per day or 2,638.95 kWh per year. The recommended solar power capacity is approximately 2 kWp, consisting of 20 solar panels rated at 100 Wp and a 10 kWh battery storage system. Technically, the system is capable of meeting the energy demand with adequate reliability. Economically, the initial investment is IDR 50,000,000 with an NPC of approximately IDR 71.1 million and an LCOE of IDR 2,523/kWh, which is higher than the grid electricity tariff. In conclusion, the implementation of a solar power system for a 1300 VA household is technically feasible but not yet fully competitive economically. However, it provides significant benefits in terms of energy sustainability, emission reduction, and improved energy independence and reliability.*

**Keywords:** solar power, renewable energy, household energy demand, LCOE, NPC, energy system

## KATA PENGANTAR



Dengan nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, Puji syukur kita ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia dan hidayah-Nya kepada kita semua sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “PERENCANAAN TEKNIS DAN EKONOMIS PLTS UNTUK MENSUPLAI BEBAN RUMAH TANGGA KAPASITAS 1300 VA DI KEC. BUNTU PANE KAB. ASAHAN”. Sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Dalam kesempatan yang berbahagia ini, dengan segenap hati. Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah banyak memberikan motivasi kepada kami didalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, terutama kepada :

1. Kedua orang tua saya yakni Alm Ayah M.Arif Daulay dan Ibu Nuraini Rambe selalu mendo’akan saya dan memberikan kasih sayangnya yang tidak ternilai kepada saya semua sehingga kami dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir.
2. Bapak Prof. Dr.Agussani, M.A.P, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Wakil Dekan I Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Wakil Dekan III Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Ibu Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Bapak Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

8. Dosen Pembimbing yang senantiasa membimbing saya dalam penulisan laporan Tugas Akhir.
9. Dosen penguji yang juga senantiasa memberikan masukan yang terbaik dalam penulisan ini sehingga menjadikan skripsi ini lebih baik lagi.
10. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
11. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro Satu Angkatan.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa yang akan datang. Akhirnya kami mengharapkan semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi diri pribadi dan para pembaca terkhusus bagi dunia kontruksi Teknik Elektro serta kepada Allah SWT , kami serahkan segalanya demi tercapainya keberhasilan yang sepenuhnya. Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, April 2026

Rahmat Fitrah Daulay  
2007220012

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>v</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	2
1.2. Batasan Masalah .....	4
1.3. Rumusan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Penelitian .....	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>7</b>
2.1. Landasan Teori .....	7
2.1.1. Pengukuran Intensitas Cahaya Matahari .....	8
2.1.2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) .....	9
2.1.2.1 Komponen PLTS .....	11
2.1.2.2 Konfigurasi PLTS.....	19
2.1.2.3 Daya Pada PLTS .....	21
2.1.2.4 Perencanaan Teknis PLTS .....	22
2.1.2.5 Nilai Ekonomis PLTS .....	24
2.1.3 Beban Listrik .....	26
2.1.4 Perencanaan PLTS.....	28
2.1.3.1 Software HOMER .....	28
2.2. Kajian Pustaka Relevan .....	29
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>30</b>
3.1 Tempat Penelitian .....	30
3.2 Pendekatan Penelitian.....	30
3.3 Definisi Operasional Variabel .....	31
3.4 Teknik Pengumpulan Data .....	31
3.5 Teknik Analisis Data .....	32
3.6 Bagan Alir Penelitian.....	34

<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>36</b>
4.1 Data Total Beban .....	38
4.2 Perencanaan Teknis Kapasitas PLTS .....	38
4.3 Perencanaan Ekonomis Kapasitas PLTS .....	47
4.4 Pembahasan .....	53
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>57</b>
3.1 Pendekatan Penelitian.....	57
3.2 Tempat Penelitian .....	58
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Setiap tahunnya data konsumsi energi di Indonesia dan didunia mengalami peningkatan. Adapun peningkatan konsumsi energi terjadi karna berbanding lurus dengan meningkatnya kebutuhan masyarakat akan energi listrik. Peningkatan konsumsi energi ini menajadi suatu masalah besar apabila permintaan konsumsi energi tidak dapat tercukupi oleh pembangkit yang menghasilkan energi. PLN (Perusahaan Listrik Negara) telah melakukan upaya untuk menyediakan energi sesuai dengan permintaan masyarakat, namun pada kenyataannya hari ini terdapat beberapa PLN didaerah – daerah yang bahkan jumlahnya kurang dari jumlah permintaan yang ada. Apabila permasalahan konsumsi energi ini tidak segera diatasi maka dapat dipastikan pertumbuhan ekonomi di tengah – tengah masyarakat bahkan nasional akan mengalami gangguan, hal ini disebabkan karena energy listrik merupakan masuk dalam aspek penting menunjangnya ekonomi (Yossie, 2017).

Ber macam upaya telah dilakukan pemerintah untuk menyelsaikan masalah kebutuhan energi listrik ini. Kemudian energi baru terbarukan mulai dikembangkan untuk menjadi solusi agar kebutuhan konsumsi energi sedikit terselesaikan. Ada beberapa jenis energi baru yang mulai dikembangkan oleh pemerintah. Salah satunya adalah energi listrik yang dihasilkan oleh cahaya matahari, energi baru terbarukan yang sangat efektif digunakan dalam skala kecil maupun besar dan dapat digunakan sebagai listrik pribadi yang disebut dengan PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya). Mengingat bahwa Indonesia merupakan negara yang dilalui oleh garis katulistiwa sehingga sinar matahari yang terpancar atau diterima lebih efektif untuk diubah dan dimanfaatkan menjadi sumber alternatif energi listrik.

Seiring dengan perjalanan waktu dan perkembangan teknologi pengembangan PLTS semakin pesat sehingga terdapat beberapa model panel surya dengan bermacam – macam kelebihan dan kekurangan . namun semua model dari PLTS sangat efektif untuk memanfaatkan energi matahari menjadi energi listrik. Perangkat PLTS yang dapat mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik

disebut solar cell atau panel surya dimana perangkat ini telah dikembangkan dan memiliki beberapa kapasitas sesuai dengan kebutuhan yang kita inginkan (Siregar, Evalina, and Haq 2021).

Pada Kabupaten Asahan Sumatera Utara penggunaan PLTS masih minim digunakan. Hal ini disebabkan kurang kesadaran masyarakat tentang peningkatan konsumsi energi listrik semakin pesat dan ketersediaan energi listrik yang menggunakan bahan bakar fosil juga semakin menipis. Namun faktor lain yang menyebabkan kurangnya antusias dalam penggunaan PLTS adalah harganya yang relatif mahal pada tahap awal pemasangan. Sehingga untuk pemasangan PLTS diperlukan perencanaan yang matang dari segi teknis dan ekonomis untuk mendapatkan hasil keluaran PLTS yang efektif dan efisien.

Karena seringkali terjadi pemadaman listrik secara berkala oleh PLN , hal ini juga membuat pemanfaatan PLTS pada kota ini relatif efektif untuk membantu suplai energi pada rumah – rumah ataupun gedung – gedung perkantoran. Pada umumnya rumah – rumah yang ada di Kabupaten Asahan belum ada yang menggunakan pemanfaatan energi terbarukan sebagai energi alternatif pengasil daya listrik. Sehingga pemanfaatan energi baru terbarukan yaitu PLTS diharapkan dapat menjadi kepekaan masyarakat terhadap energi baru terbarukan serta dapat membantu memecahkan masalah dari penggunaan energi listrik (Siregar, Evalina, and Haq 2021).

Pemasangan PLTS diharapkan berdampak positif dalam ekonomis dari pengeluaran untuk biaya energi listrik setiap bulannya. apabila PLTS dipasang on-grid dengan listrik oleh PLN, maka rumah yang memanfaatkan PLTS sebagai alternatif penggunaan daya listrik dapat menghemat sekian persen pengeluarannya setiap bulan untuk daya listrik. Pada rumah yang akan dijadikan lokasi penelitian dengan kapasitas 1300 VA ini juga terdapat lahan yang cukup luas yang dapat direncanakan pembangunan PLTS, Dalam penelitian ini penulis menggunakan software HOMER untuk merancang perencanaan PLTS dan menentukan tingkat kapasitas yang diperlukan untuk membebani rumah. Maka dari itu judul yang diangkat ini diharapkan untuk mengetahui berapa daya yang dapat dihasilkan PLTS apabila dibuat pada lahan yang tersedia dan berapa tingkat peluang penghematannya apabila dipasang PLTS (Purwoto, 2018).

## 1.2 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dibagi menjadi 2 bagian, yaitu batasan masalah perencanaan teknis dan ekonomis. Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

### 1. Perencanaan Teknis

Perencanaan teknis meliputi perhitungan beban keseluruhan pada rumah berkapasitas 1300 VA. Adapun beban yang akan dihitung yaitu beban penerangan, beban motor dan beban elektronik. Kemudian perhitungan luas lapangan yang dimiliki yang akan direncanakan pemasangan PLTS. Pada luas lapangan tersebut akan dihitung berapa kapasitas PLTS yang mampu terpasang sesuai dengan luas lapangan. Kemudian akan dihitung beban apa yang mampu dan efektif dibebani oleh PLTS (dari ke-3 jenis beban). Dimana pada perencanaan teknis ini akan dibantu dengan software HelioScope dan HOMER, dimana HelioScope berfungsi sebagai perencanaan PLTS pada lapangan sedangkan HOMER berfungsi sebagai menganalisis kemampuan daya keluaran PLTS mensuplai beban.

### 2. Perencanaan Ekonomis

Perencanaan ekonomis ini meliputi biaya total perencanaan PLTS pada lapangan yang dimiliki. Kemudian analisis *Pay Back Period* yaitu dalam waktu berapa lama dengan memanfaatkan PLTS untuk mensuplai beban yang telah ditentukan dapat mengembalikan modal yang digunakan pada tahap awal pembangunan PLTS.

### 3. Penelitian ini terfokus kepada perencanaan PLTS secara teknis dan ekonomis, tidak membahas mengenai sistem keamanan pada PLTS.

## 1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang ada pada penelitian ini adalah :

1. Berapa total beban terpasang pada rumah berkapasitas 1300 VA di Kec. Buntu Pane Kabupaten Asahan?

2. Berapa kapasitas PLTS yang dapat dipasang dengan luas lahan yang ada pada rumah berkapasitas 1300 VA di Kec. Buntu Pane Kabupaten Asahan?
3. Bagaimana analisis teknis terhadap PLTS untuk mensuplai beban pada rumah tangga berkapasitas 1300 VA?

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah :

1. Menghitung total beban yang ada pada rumah berkapasitas 1300 VA di Kec. Buntu Pane Kabupaten Asahan yang akan disuplai PLTS
2. Merancang kapasitas PLTS yang akan dipasang sesuai beban yang akan disuplai.
3. Menganalisis nilai ekonomis penggunaan PLTS sebagai salah satu sumber daya listrik

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Memberikan pengetahuan dan informasi bagi penulis tentang pengaruh pentingnya pemanfaatan energi baru terbarukan khususnya PLTS
2. Menjadi bahan perbandingan terhadap masyarakat yang ingin menginstalasi panel surya dan sebagai rekomendasi kepada rumah yang menjadi lokasi penelitian
3. Menjadi referensi penelitian bagi peneliti dan mahasiswa pada Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Landasan Teori**

Pemanfaatan energi matahari sebagai sumber energi alternatif untuk mengatasi krisis energi, khususnya minyak bumi, yang terjadi sejak tahun 1970-an mendapat perhatian yang cukup besar dari banyak negara di dunia. Di samping jumlahnya yang tidak terbatas, pemanfaatannya juga tidak menimbulkan polusi yang dapat merusak lingkungan. Cahaya atau sinar matahari dapat dikonversi menjadi listrik dengan menggunakan teknologi sel surya atau fotovoltaik. Potensi energi surya di Indonesia sangat besar yakni sekitar 4.8 KWh/m<sup>2</sup> atau setara dengan 112.000 GWp, namun yang sudah dimanfaatkan baru sekitar 10 MWp. Saat ini pemerintah telah mengeluarkan roadmap pemanfaatan energi surya yang menargetkan kapasitas PLTS terpasang hingga tahun 2025 adalah sebesar 0.87 GW atau sekitar 50 MWp/tahun. Jumlah ini merupakan gambaran potensi pasar yang cukup besar dalam pengembangan energi surya di masa datang (Guru Arrasyid,2019).

Komponen utama sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan menggunakan teknologi fotovoltaik adalah sel surya. Saat ini terdapat banyak teknologi pembuatan sel surya. Sel surya konvensional yang sudah komersil saat ini menggunakan teknologi wafer silikon kristalin yang proses produksinya cukup kompleks dan mahal. Secara umum, pembuatan sel surya konvensional diawali dengan proses pemurnian silika untuk menghasilkan silika solar grade (ingot), dilanjutkan dengan pemotongan silika menjadi wafer silika. Selanjutnya wafer silika diproses menjadi sel surya, kemudian sel-sel surya disusun membentuk modul surya. Tahap terakhir adalah mengintegrasikan modul surya dengan BOS (Balance of System) menjadi sistem PLTS. BOS adalah komponen pendukung yang digunakan dalam sistem PLTS seperti inverter, baterai, sistem kontrol, dan lain-lain (Guru Arrasyid,2019).

Saat ini pengembangan PLTS di Indonesia telah mempunyai basis yang cukup kuat dari aspek kebijakan. Namun pada tahap implementasi, potensi yang ada belum dimanfaatkan secara optimal. Secara teknologi, industri photovoltaic

(PV) di Indonesia baru mampu melakukan pada tahap hilir, yaitu memproduksi modul surya dan mengintegrasikannya menjadi PLTS, sementara sel suryanya masih impor. Padahal sel surya adalah komponen utama dan yang paling mahal dalam sistem PLTS. Harga yang masih tinggi menjadi isu penting dalam perkembangan industri sel surya. Berbagai teknologi pembuatan sel surya terus diteliti dan dikembangkan dalam rangka upaya penurunan harga produksi sel surya agar mampu bersaing dengan sumber energi lain.

### 2.1.1 Pengukuran Intensitas Cahaya Matahari

Terdapat beberapa cara dalam mendapatkan data intensitas cahaya matahari, kita dapat mengambil data pada BMKG untuk mendapatkan data berskala nasional. Dan juga kita dapat mengambil data dari NASA untuk data berskala internasional. Tetapi apabila kita ingin mendapatkan data dengan mengukur sendiri intensitas cahaya matahari, kita dapat menggunakan alat ukur yaitu lux meter. Lux meter merupakan sebuah alat yang mampu mengetahui serta mengukur seberapa besar intensitas cahaya yang berada pada suatu tempat (Evalina et al. 2021).

Sesuai dengan namanya, lux meter berfungsi sebagai pengukur intensitas cahaya yang tersebar dalam suatu tempat. Penciptaan alat ini dilatar belakangi oleh kesadaran kebutuhan cahaya yang berbeda – beda di tiap ruangan. Hal tersebut karena mata harus dengan jelas menangkap segala hal dengan baik yang nantinya digunakan untuk menunjang aktifitas kerja (Siregar et al. 2021).

Untuk satuan intensitas cahaya matahari adalah  $W/m^2$ , namun pada alat Lux Meter mengukur intensitas cahaya matahari dengan satuan lux. Dalam satuan lux dapat dikonversi kepada satuan  $W/m^2$  dimana satuan lux dikalikan dengan 0,0079 . atau dapat kita lihat pada persamaan berikut : (Siregar et al. 2021).

$$1 \text{ Lux} = 0.0079 \text{ W/m}^2 \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

Lux = Satuan Intensitas Cahaya Matahari

$W/m^2$  = Satuan Radiasi Matahari

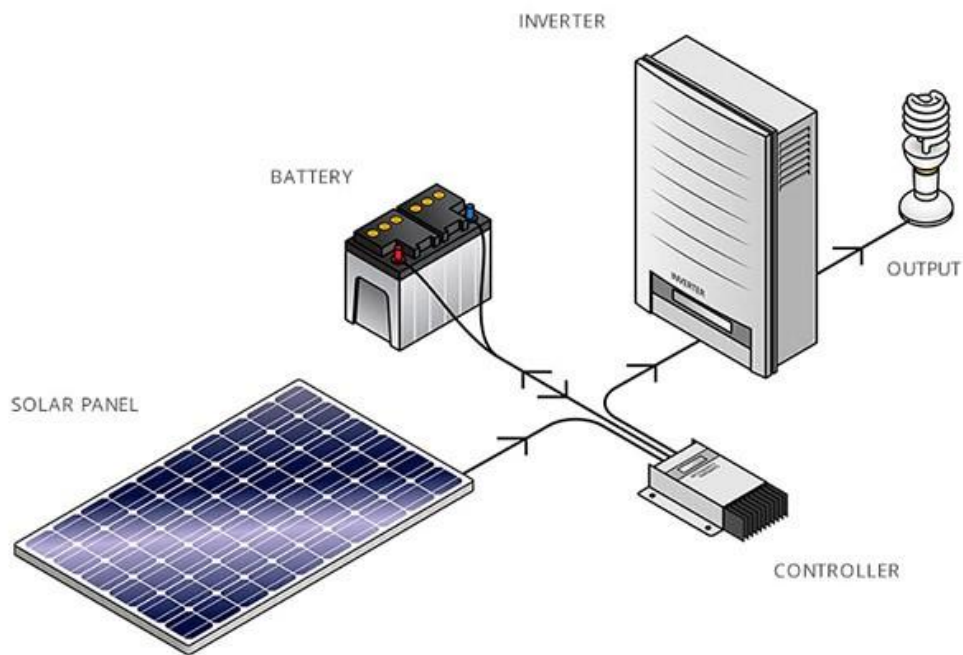
### **2.1.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)**

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan kapasitas tertentu dapat menghasilkan jumlah listrik yang berbeda-beda apabila ditempatkan pada daerah yang berlainan. Dari sudut pandang Lingkungan, PLTS merupakan energi terbarukan yang tidak ada batasnya tidak akan krisis kelangkaan energi. Pada siang hari modul surya menerima cahaya matahari yang kemudian diubah menjadi listrik melalui proses fotovoltaik. Listrik yang dihasilkan oleh modul dapat langsung disalurkan ke beban ataupun disimpan didalam baterai sebelum digunakan ke beban lampu, radio, dan lain - lain. Pada malam hari, dimana modul surya tidak menghasilkan listrik, beban sepenuhnya dicatu oleh baterai. Apabila hari mendung, dimana modul surya menghasilkan listrik lebih rendah dibandingkan pada saat matahari benderang.

PLTS juga merupakan energi yang ramah lingkungan hal ini dikarenakan PLTS tidak memancarkan emisi karbon berbahaya yang berkontribusi terhadap perubahan iklim seperti pada bahan bakar fosil. Kemudian PLTS juga mampu mengurangi 18 ton emisi gas rumah kaca dilingkungan setiap tahunnya. Sudut pandang ekonomi pun, PLTS memberikan manfaat yang dapat memberikan kepuasan bagi penggunanya, antara lain: energi matahari tidak perlu dibeli. Penggunanya hanya membutuhkan biaya produksi pada awal saja, selanjutnya akan berjalan dengan sendirinya. Manfaat kedua adalah, bebas dari biaya perawatan. Kemudian, kantong hemat dikarenakan tidak memerlukan bahan bakar. Yang terakhir dari sudut pandang ekonomi adalah energi ini bersifat moduler yang artinya kapasitas listrik yang dihasilkan dapat sesuai dengan kebutuhan (Soejitno, 1973).

Mengingat rasio elektrifikasi di Indonesia baru mencapai 55-60% dan hampir seluruh daerah yang belum dialiri listrik adalah daerah pedesaan yang jauh dari pusat pembangkit listrik, maka PLTS yang dapat dibangun hampir di semua lokasi merupakan alternatif sangat tepat untuk dikembangkan. Dalam kurun waktu tahun 2005-2025, pemerintah telah merencanakan menyediakan 1 juta Solar Home System berkapasitas 50 Wp untuk masyarakat berpendapatan rendah serta 346,5 MWp PLTS hibrid untuk daerah terpencil. Hingga tahun 2025 pemerintah merencanakan akan ada sekitar 0,87 GW kapasitas PLTS terpasang (Soejitno,

1973). Dengan asumsi penguasaan pasar hingga 50%, pasar energi surya di Indonesia sudah cukup besar untuk menyerap keluaran dari suatu pabrik sel surya berkapasitas hingga 25 MWp per tahun. Hal ini tentu merupakan peluang besar bagi industri lokal untuk mengembangkan bisnisnya ke pabrikasi sel surya. [1] PLTS memiliki rangkaian yang cukup sederhana sehingga memudahkan para penggunanya apabila terjadi kerusakan pada sistem rangkaian listrik. Rangkaian PLTS dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Rangkaian PLTS (E.Yusmiati, 2014)

Dari gambar 2.1 dapat kita lihat panel surya sebagai alat yang menangkap cahaya matahari dan mengkonversikan menjadi energi listrik. Kemudian energi listrik disalurkan kepada solar charger controller (SCC), dimana alat ini dapat mengontrol pengisian dari PLTS ke baterai. Dari SCC energi listrik mengalir ke baterai untuk disimpan. Dikarenakan cahaya matahari tidak selalu bersinar selama 24 jam, maka energi harus disimpan ke baterai agar dapat digunakan ketika matahari sudah tidak bersinar (Pasaribu, 2022). Arus dan tegangan yang dihasilkan oleh PLTS dan dialirkan ke baterai adalah jenis arus searah atau DC. Daya yang berada pada baterai apabila ingin digunakan ke beban harus melalui inverter, inverter berfungsi sebagai pengubah arus DC menjadi AC. Karena beban pada umumnya di Indonesia

menggunakan arus AC sehingga harus menggunakan inverter untuk mengubah terlebih dahulu arus yang dihasilkan PLTS agar dapat disalurkan ke beban (E.Yusmiati, 2014).

### 2.1.2.1 Komponen Pada PLTS

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) terdiri dari beberapa komponen untuk menghasilkan energi listrik. Dimana masing – masing komponen memiliki peran dan fungsi yang berbeda – beda dalam suatu sistem PLTS. Adapun komponen – komponen pada PLTS adalah sebagai berikut :

#### 1. Panel Surya

*Solar cell* atau biasa disebut dengan panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik. Mereka disebut surya atau matahari atau “sol” karena matahari merupakan sumber cahaya yang dapat dimanfaatkan. Panel surya sering kali disebut sel photovoltaic, photovoltaic dapat diartikan sebagai “cahaya listrik”. Sel surya bergantung pada efek photovoltaic untuk menyerap energi (Martini, 2018).



Gambar 2.2. Solar Cell

Energi surya yang dapat dibangkitkan untuk seluruh daratan Indonesia yang mempunyai luas 2 juta km<sup>2</sup> adalah sebesar 4,8 kWh/m<sup>2</sup> / hari atau setara dengan 112.000 GWp yang didistribusikan. Indonesia memanfaatkan baru sekitar 10 MWp, sehingga masih banyak dibutuhkan dan dibangun

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di wilayah Indonesia untuk dapat menghasilkan listrik. (E.Yusmiati, 2014)

Pada umumnya, panel surya merupakan sebuah hamparan semi konduktor yang dapat menyerap photon dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Sel surya tersebut dari potongan silikon yang sangat kecil dengan dilapisi bahan kimia khusus untuk membentuk dasar dari sel surya. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan negatif. Pada sel surya terdapat sambungan (function) antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor yang masing - masing yang diketahui sebagai semikonduktor jenis “P” (positif) dan semikonduktor jenis “N” (Negatif). Silikon jenis P merupakan lapisan permukaan yang dibuat sangat tipis supaya cahaya matahari dapat menembus langsung mencapai junction. Bagian P ini diberi lapisan nikel yang berbentuk cincin, sebagai terminal keluaran positif . Dibawah bagian P terdapat bagian jenis N yang dilapisi dengan nikel juga sebagai terminal keluaran negative (Rachmad, 2018).

Adapun jenis jenis dari Panel Surya adalah sebagai berikut :

a. Mono Kristal

Merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini & 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 matahari nya kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.



Gambar 2.4 Modul Monocrystalline

b. Poly Kristal

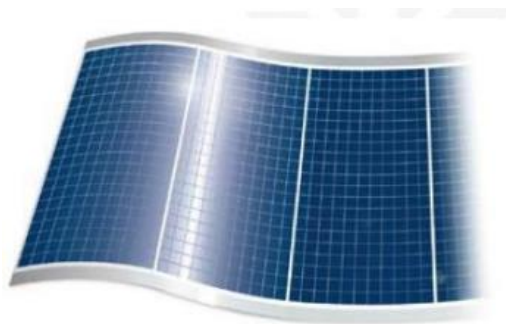
Merupakan Panel Surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikasi dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel suraya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih rendah.



Gambar 2.5 Modul Polycrystalline

c. Thin Film

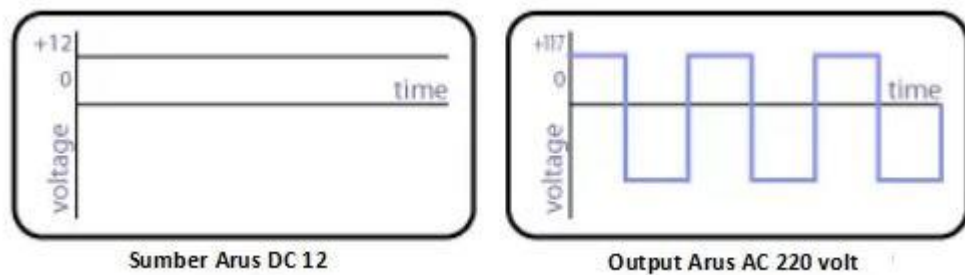
Merupakan Panel Surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis mikrokristal-silicon dan amorphous dengan efisiensi modul hingga 8.5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar daripada monokristal & polykristal. Inovasi terbaru adalah Thin Film Triple Junction Photovoltaic (dengan tiga lapisan) dapat berfungsi sangat efisien dalam udara yang sangat berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% lebih tinggi dari panel jenis lain dengan daya yang ditera setara



Gambar 2.6 Modul Thinfilm

## 2. Inverter

Menurut Yustinus,Ahmad dan Abdul, 2017, Inverter merupakan suatu alat elektronika yang berfungsi mengubah dari sumber tegangan arus searah (DC) menjadi arus bolak – balik (AC) dengan besaran tegangan dan frekuensi yang diatur. <sup>[9]</sup> Pada penelitian lain disebutkan Inverter merupakan perangkat yang berfungsi untuk merubah daya DC dari PV menjadi daya AC yang nantinya dapat disalurkan ke beban ataupun PLN (Rachmad, 2018).



Gambar 2.3. Gelombang DC dan AC (Rachmad, 2018)

Prinsip kerja inverter dapat dilihat pada gambar 2.15 yang merupakan ilustrasi dari prinsip kerja inverter. Jika sebuah baterai yang salah satu kutubnya dihubungkan ke sebuah transformator pada kaki CT (*Center tap*) secara tepat dan terus menerus saklar pada gambar diatas dipindahkan posisinya. Maka pada coil sekunder transformator akan muncul arus listrik berupa AC. Secara teori tegangan pada sekunder bisa diatur sedemikian rupa hanya dengan menambah jumlah lilitan kumparan trafo saja yang akan melipatgandakan tegangan yang dihasilkan (Rachmad, 2018). Hal ini bisa terjadi karena adanya induksi yang dihasilkan dari baterai.inverter dapat menimbulkan efek seperti saklar yang dipindah bolak balik dengan cara menggunakan sebuah rangkaian astable multivibrator dari sepasang transistor atau lebih baik lagi dengan menggunakan mosfet yang tentunya lebih efisien dalam hal daya.

## 3. *Solar Charger Controller (SCC)*

*Solar charger controller (SCC)* merupakan bagian yang cukup penting dalam rangkaian Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Dimana peran utama dari SCC adalah melindungi dan melakukan otomatisasi pada pengisian baterai.

Hal ini bertujuan untuk mengoptimalkan system serta menjaga agar baterai dapat digunakan untuk jangka panjang (Janaloka, 2017). *Solar charger control* yang baik biasanya mempunyai kemampuan mendeteksi kapasitas baterai. Bila baterai sudah penuh terisi maka secara otomatis pengisian arus dari panel surya berhenti. Cara deteksi pada SCC melalui monitor level tegangan tertentu, kemudian apabila level tegangan turun maka baterai akan kembali mengisi (Janaloka, 2017).



Gambar 2.4 *Solar Charger Controller*

Ada dua jenis teknologi yang umum digunakan oleh solar charger controller:

1. PWM (*Pulse Wide Modulation*), seperti namanya PWM menggunakan lebar pulse dari on dan off elektrik.
2. MPPT (*Maximum Power Point Tracker*), yang lebih efisien konversi DC to DC. MPPT dapat digunakan oleh beban kedalam baterai, dan apabila daya yang dibutuhkan beban lebih besar dari daya yang dihasilkan oleh PV, maka daya dapat diambil dari baterai (Janaloka, 2017).

Ada beberapa kondisi yang dapat dilakukan oleh solar Solar Charger Controller (SCC) pada system panel surya :

1. Mengendalikan tegangan panel surya

Tanpa fungsi control pengendali Antara panel surya dan baterai, panel akan melakukan pengisian melebihi tegangan daya yang dapat ditampung baterai sehingga dapat merusak ser yang terdapat didalam baterai. Mengisi baterai secara berlebihan dapat mengakibatkan baterai meledak (Armand, 2011).

## 2. Mengawasi tegangan baterai

SCC dapat mendeteksi saat tegangan baterai terlalu rendah. Bila tegangan baterai turun dibawah tingkat tegangan tertentu, SCC akan memutuskan beban baterai agar daya baterai tidak habis. Penggunaan baterai dengan kapasitas daya yang habis akan merusak baterai bahkan baterai dapat menjadi tidak dapat digunakan kembali (Armand, 2011).

## 3. Menghentikan arus terbalik saat malam hari

Pada malam hari, panel surya tidak menghasilkan arus, karena tidak terdapat lagi sumber energi, yaitu matahari. Alih-alih arus berhenti mengalir, arus yang terdapat dalam baterai dapat mengalir terbalik ke panel surya, dan hal ini dapat merusak sistem panel surya anda. SCC berfungsi untuk menghentikan kondisi arus terbalik ini. SCC berfungsi mengatur arus dari beban saat beban tersambung ke SCC. Terminal beban pada SCC dapat digunakan untuk koneksi langsung beban ke SCC, namun SCC masih bisa beroperasi seperti biasa jika tidak ada beban yang terhubung langsung dengannya (Armand, 2011).

## 4. 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 melewatkan arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan didalam sel. Baterai terdiri dari dua jenis yaitu, baterai primer dan baterai sekunder (Armand, 2011). Fungsi baterai sangat beragam dalam kehidupan sehari – hari, namun fungsi baterai memiliki inti yang sama yaitu sebagai sumber energi. Hampir pada semua alat

elektronik yang sifatnya mobile juga menggunakan baterai sebagai sumber energi. Seperti contoh yaitu senter, power bank, drone, remote dan lain sebagainya. Semua alat – alat tersebut membutuhkan baterai agar bias bekerja (Panel Surya, 2015). Baterai pada umumnya yang paling banyak digunakan adalah baterai alkali. besarnya kapasitas baterai tergantung dari banyaknya bahan aktif pada plat positif maupun plat negative 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) (Janaloka, 2017). Kapasitas baterai dapat dinyatakan dengan persamaan dibawah ini :

$$N = I \times t \times \cos \phi \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

N = kapasitas baterai aki (Ah)

I = kuat arus (*ampere*)

t = waktu (jam atau *sekon*)

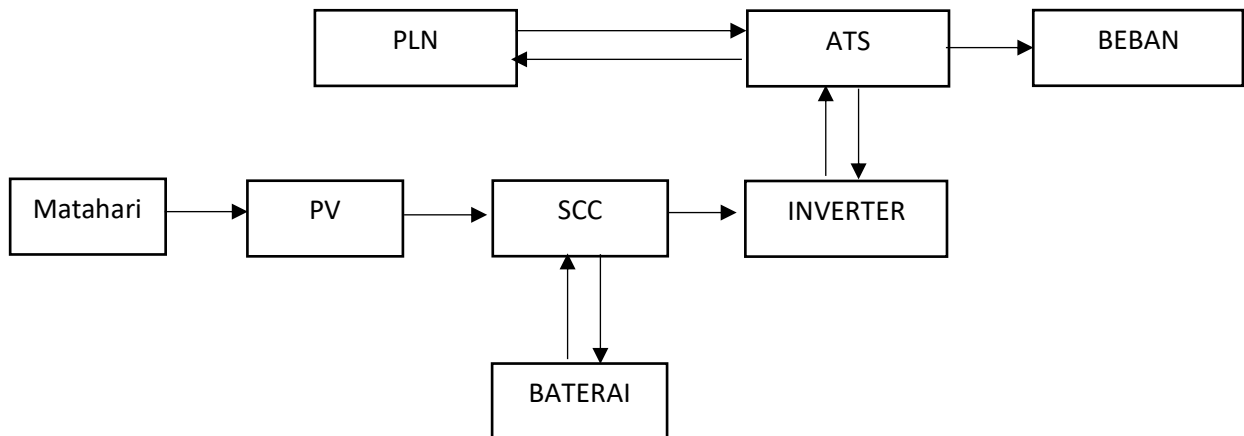
$\cos \phi$  = Faktor Daya DC = 1

### 2.1.2.2 Konfigurasi PLTS

Dalam merangkai atau memanfaatkan PLTS terdapat beberapa model pengaplikasian, adapun pengaplikasian ini sesuai dengan kondisi penggunaan dan pemanfaatan PLTS yang digunakan.

1. Sistem *On-Grid Distributed*

Sistem *On-Grid distributed* biasanya digunakan untuk menyediakan tenaga listrik ke *grid-connected* customer atau secara langsung terhubung ke jaringan listrik. Yang menjadi ciri utama sistem ini adalah dihubungkannya beban ac ke jaringan distribusi listrik yang dimiliki oleh perusahaan listrik. [29]



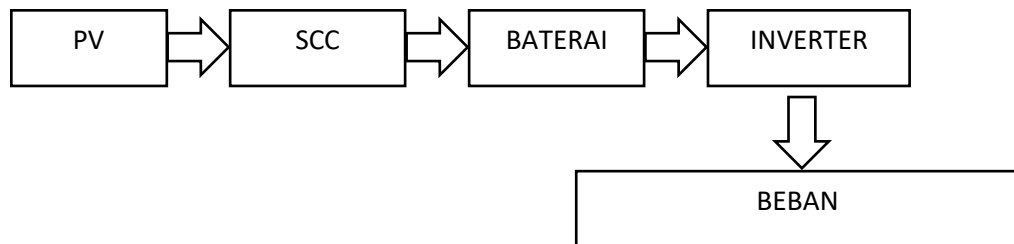
Gambar 2.4 Sistem *On-Grid II* (Hamid, Rizky, Amin dan Bagus, 2016)

Dari gambar 2.4 dijelaskan bahwa sistem on-grid yaitu dari modul PV energi listrik yang dihasilkan melewati SCC kemudian disimpan ke baterai. Dari baterai listrik melalui ATS terlebih dahulu, apabila sistem masih menggunakan PLN maka ats menyalurkan daya dari PLN ke beban langsung. Namun apabila ats berpindah menggunakan daya PLTS, maka daya pada baterai mengalir melalui ATS dan suplai PLN diputus. Kemudian daya dari baterai dialirkan ke inverter untuk mengubah arus DC menjadi AC agar dapat mensuplai beban.

## 2. Sistem *Off-Grid Distributed*

Sistem Off-grid domestic menyediakan listrik 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 domestic ini telah digunakan hampir diseluruh dunia dan merupakan teknologi yang tepat untuk memenuhi tenaga listrik bagi masyarakat yang jauh dari jaringan listrik (Hamid, Rizky, Amin dan Bagus,

2016). Kecenderungan pemanfaatan sistem ini secara komunal saat 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. Adapun rangkaian off-grid sama dengan rangkaian PLTS stand alone pada umumnya seperti pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Rangkaian PLTS Off-Grid

### 2.1.2.3 Daya Pada PLTS

Beban 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. Beban merupakan energi listrik yang telah dikonversi ke berbagai energi seperti mekanik , panas dan lainnya. Untuk menentukan beban pada listrik digunakan rumus : (Hamid, Rizky, Amin dan Bagus, 2016)

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

Dimana :

P = Daya (Watt)

t = Waktu Penggunaan Beban (Jam)

L = Load / Beban (Watthour)

Untuk menentukan nilai daya keluaran dari panel surya yang digunakan, dapat digunakan persamaan sebagai berikut (Ibeng, 2020):

$$P = V \times I \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

- P = Daya (Watt)  
 V = Tegangan Keluaran PLTS (Volt)  
 I = Arus Keluaran PLTS (Ampere)

Kemudian untuk menentukan arus dan tegangan rata – rata pada setiap hari pengambilan data dengan persamaan :

$$I_{rata - rata} = \frac{I_{total}}{n} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$V_{rata - rata} = \frac{V_{total}}{n} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

- $I_{rata-rata}$  = Rata – Rata Arus (Ampere)  
 $V_{rata-rata}$  = Rata – Rata Tegangan (Volt)  
 n = Jumlah pengambilan data

#### 2.1.2.4 Perencanaan Teknis PLTS

Dalam merancang PLTS dibutuhkan beberapa tahap untuk mendapatkan hasil ataupun daya keluaran PLTS yang sesuai dengan apa yang direncanakan. Dalam perencanaan teknis PLTS ada beberapa tahap yang perlu diperhatikan. Adapun tahap – tahap perancangan teknis PLTS adalah sebagai berikut (Hamid,Rizky,Amin dan Bagus, 2016) :

##### 1. Total Beban Harian Listrik

Total beban harian listrik sangat diperlukan dalam perencanaan teknis PLTS. Dimana beban harian ini sebagai acuan untuk kapasitas PLTS yang efektif dipasang dan digunakan.

##### 2. Menentukan Jam Ekuivalen Matahari di Indonesia (ESH)

Jam matahari ekuivalen suatu tempat ditentukan berdasarkan peta insolasi matahari dunia yang dikeluarkan oleh Solarex. Berdasarkan 9 peta insolasi matahari dunia, diperoleh ESH untuk wilayah Indonesia Timur sebesar 4.8

3. Menentukan Jumlah Panel Surya

Rumus yang digunakan untuk menentukan jumlah panel surya sesuai dengan beban pemakaian adalah

$$Jumlah\ PLTS = \frac{Total\ Beban}{Kapasitas\ Modul\ PLTS \times ESH} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

ESH = Ekuivalen Matahari Di Indonesia (Konstanta 4,8)

4. Rugi – Rugi Faktor Keamanan Sistem

Untuk sistem PLTS faktor 25% harus ditambahkan ke pembebanan sebagai pengganti rugi -rugi sistem dan faktor keamanan. Oleh karena itu, total kapasitas PLTS yang ditentukan pada persamaan 2,12 dikalikan dengan 25/100.

5. Menentukan Kebutuhan Baterai

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) umumnya dilengkapi dengan baterai sebagai media penyimpanan energi untuk mensuplai kebutuhan listrik beban ketika beroperasi malam hari. Kapasitas baterai dihitung dengan persamaan

$$I = \frac{L}{V} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

I = Arus yang dibutuhkan (Ampere)

L = Load / beban (Watt-hour)

V = Tegangan Pada Sistem (Volt)

6. Besar Kebutuhan SCC

Untuk menghitung kebutuhan Solar Charge Controller, perlu untuk mengetahui spesifikasi dari panel surya. Dari spesifikasi panel surya, yang perlu diperhatikan adalah Isc (short circuit current)

7. Besar Kebutuhan Inverter

Besar kebutuhan inverter yang diperlukan untuk kebutuhan AC adalah minimal sama dengan total daya yang dinyalakan bersamaan (Noorly, Faisal, Abdul. 2021).

### 2.1.2.5 Perencanaan Nilai Ekonomis PLTS

Nilai Ekonomis dari suatu investasi adalah deret seragam dari modal yang tertanam dalam suatu investasi selama umur dari investasi tersebut. Nilai ekonomis bisa digunakan untuk melihat apakah suatu investasi akan memberikan pendapatan yang cukup untuk menutupi modal yang dikeluarkan termasuk bunga yang mestinya dihasilkan selama umur dari investasi tersebut. Nilai sisa dalam suatu perhitungan ekonomis dianggap sebagai pendapatan atau keuntungan. (Hamid,Rizky,Amin dan Bagus, 2016)

#### 1. *Payback Periode*

Pada dasarnya periode pengembalian (Payback Period) adalah jumlah periode (tahun) yang diperlukan untuk mengembalikan (menutup) ongkos investasi awal dengan tingkat pengembalian tertentu. Perhitungannya dilakukan berdasarkan alirankas baik tahunan maupun yang merupakan nilai sisa. Untuk mendapatkan periode pengembalian pada suatu tingkat pengembalian (rate of return) tertentu digunakan model formula berikut:

$$0 = -P_w + \sum_{t=0}^N A_w t \left( \frac{P_w}{F_w}, i \%, t \right) \dots \dots \dots (2.14)$$

Atau juga pendapatan pertahun sama menggunakan persamaan :

$$PBP = \frac{\text{Total Biaya Investasi}}{\text{Pendapatan/Tahun}} \times 1 \text{ Tahun} \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana :

PBP = Pay Back Periode

Awt = Aliran Kas Yang Terjadi pada periode t

N = Periode pengembalian

t = Waktu Pengembalian

Apabila suatu alternatif memiliki masa pakai ekonomis lebih besar dari periode pengembalian N maka alternatif tersebut layak diterima. Sebaliknya, bila N lebih besar dari estimasi masa pakai suatu alat atau umur suatu investasimaka investasi atau alat tersebut tidak layak diterima karena tidak akan cukup waktu untuk mengembalikan modal yang dipakai sebagai biaya awal dari investasi tersebut.

## 2. *Break Even Point*

Break even point merupakan keadaan dimana nilai investasi dan pendapatan berada di titik 0, atau dapat dikatakan berada pada kondisi tidak mengalami kerugian dan tidak mengalami keuntungan. Nilai BEP diperlukan untuk dapat memperkirakan pada tahun ke berapa investor mulai mengalami keuntungan. Dikarenakan software HOMER tidak menghitung nilai BEP, maka digunakan perhitungan secara manual (Hamid,Rizky,Amin dan Bagus, 2016). Menurut penelitian yang serupa, BEP adalah suatu keadaan impas yaitu apabila telah dihitung laba dan rugi suatu periode tertentu, maka perusahaan tersebut tidak mendapat keuntungan dan sebaliknya tidak menderita kerugian. Adapun titik BEP dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$BEP = \frac{FC}{P-VC} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana :

BEP = *Break Even Point* (Rupiah)

FC = Biaya tetap (Rupiah)

VC = Biaya Variabel (Rupiah)

P = Harga Per Unit (Rupiah)

BEP juga dapat dicari dengan menggunakan aplikasi. Pada pembahasan ini menggunakan aplikasi analisis titik impas (break even point = BEP ) untuk menentukan berapa tahun waktu yang dibutuhkan (berapa ongkos atau tariff yang harus dikeluarkan atau dijual) agar kinerja PLT-Angin pada titik impas. Permasalahan produksi energi listrik biasanya digunakan untuk menentukan ongkos, tarif dan tingkat produksi energi listrik yang bisa mengakibatkan perusahaan berada pada kondisi impas. Untuk mendapatkan titik impas ini maka harus dicari fungsi-fungsi biaya maupun pendapatannya. Pada saat kedua fungsi tersebut bertemu maka total biaya sama dengan total pendapatan.

### 2.1.3 **Beban Listrik**

Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat pula dimusnahkan. Energi hanya dapat diubah dari suatu bentuk ke bentuk energi yang lain. Demikianlah pula energi listrik yang merupakan hasil

perubahan energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik. Keberadaan energi listrik ini dapat dimanfaatkan semaksimal mungkin. Adapun kegunaan energi listrik dalam kehidupan sehari-hari merupakan penerangan, pemanas, motor-motor listrik dan lain-lain. Energi yang digunakan alat listrik merupakan laju penggunaan energi (daya) dikalikan dengan waktu selama alat tersebut digunakan. Bila daya diukur dalam watt jam maka :

$$W = P \times t \dots\dots\dots(2.17)$$

Dengan :

P = Daya Aktif (Watt)

t = Waktu (Jam)

W = Energi (Joul)

Menurut Djiteng Marsudi (2006) untuk keperluan penyediaan tenaga listrik bagi para pelanggan, diperlukan berbagai peralatan listrik. Berbagai peralatan listrik ini dihubungkan satusama lain yang mempunyai interrelasi dan secara keseluruhan membentuk suatu sistem tenaga listrik. Adapun dimaksud dengan sistem tenaga listrik di sini adalah sekumpulan pusat listrik dan gardu induk (pusat beban) yang satu sama lain dihubungkan oleh jaringan transmisi sehingga merupakan satu kesatuan interkoneksi.

Beban rata-rata didefinisikan sebagai perbandingan antara energi yang terpakai dengan waktu pada periode. Atau dituliskan menurut persamaan 1 periode tahunan : (Yossie, 2017)

$$L_{rata-rata} = L_{setahun} / (365 \times 24) \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana :

$L_{rata-rata}$  = Beban Rata – Rata (Watt-hour)

$L_{setahun}$  = Total beban selama setahun (Watt-hour)

365 = Konstanta Hari dalam setahun

24 = Konstanta jumlah jam selama satu hari

Kemudian beban juga dipengaruhi oleh faktor daya. Faktor daya atau faktor kerja adalah perbandingan antara daya aktif (watt) dengan daya semu/daya total (VA), atau cosinus sudut antara daya aktif dan daya semu/daya total. Daya reaktif yang tinggi akan meningkatkan sudut ini dan sebagai hasilnya faktor daya akan

menjadi lebih rendah. Faktor daya selalu lebih kecil atau sama dengan satu. Definisi tersebut dapat dituliskan seperti : (Yossie, 2017)

$$\text{Cos } \phi = \frac{P}{S} \dots \dots \dots (2.18)$$

$$P = V . I . \text{Cos } \phi \dots \dots \dots (2.19)$$

$$S = V . I \dots \dots \dots (2.20)$$

Dimana :

Cos $\phi$	= Faktor Daya
P	= Daya Nyata (Watt)
S	= Daya Semu (VA)
V	= Tegangan (Volt)
I	= Arus (Ampere)

#### 2.1.4 Perencanaan PLTS

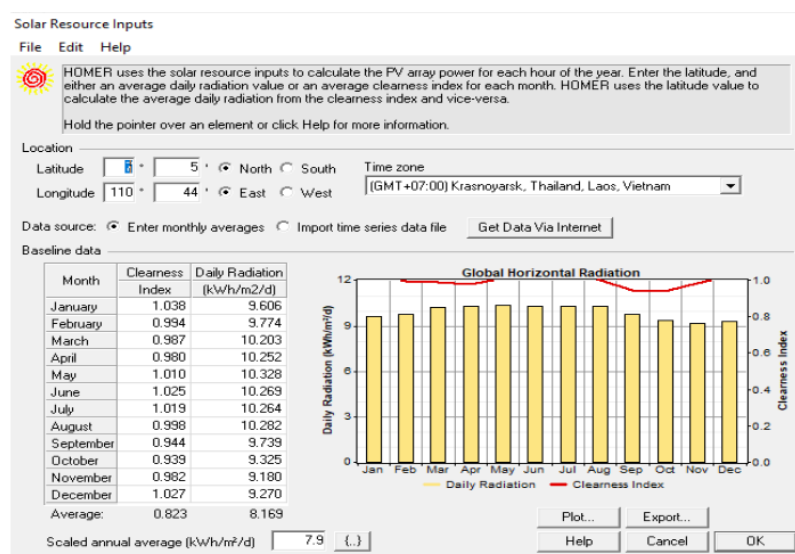
Pada penelitian ini digunakan beberapa aplikasi perencanaan PLTS untuk mempermudah proses penelitian. Dimana aplikasi yang digunakan adalah HOMER dan HelioScope.

##### 2.1.4.1 *Software* HOMER

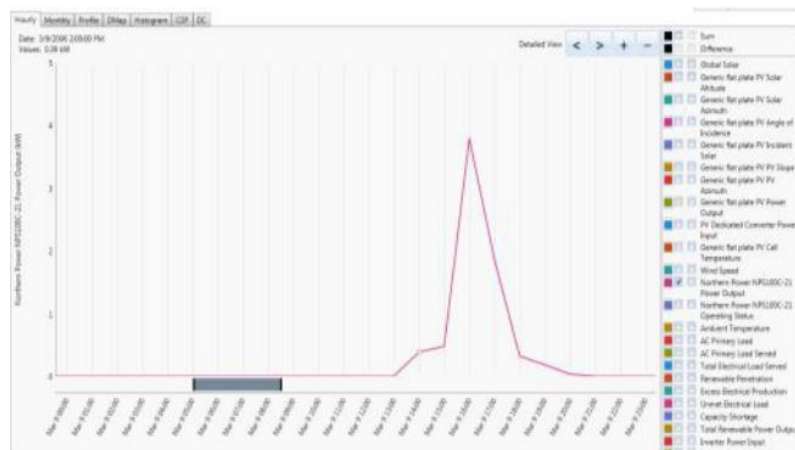
Energi listrik sudah menjadi kebutuhan sehari-hari bagi rakyat dunia. Perkembangan budaya global juga sangat memicu berkembangnya kebutuhan listrik. Begitu juga Indonesia yang merupakan salah satu negara berkembang, melakukan banyak pembangunan dalam lingkup pemukiman, lahan kerja dan sebagainya sehingga kebutuhan energi listrik meningkat tajam. Perkembangan fasilitas pembangkitan listrik di Indonesia sudah marak seiring dengan adanya rencana daya listrik 35.000 MW pada era kepemimpinan presiden Joko Widodo. Pembangkit listrik tenaga bersih dan terbarukan menjadi hal yang sangat menarik untuk dikembangkan karena tidak merusak lingkungan dan memiliki sumber tak terbatas. PLTS memiliki kemampuan untuk mengkonversi energi yang dihasilkan oleh radiasi matahari namun memiliki beberapa kekurangan. Pengoperasian PLTS hanya dapat dilakukan beberapa jam saja yaitu ketika adanya sinar matahari (pagi hari sampai sore hari). Sudah banyak pula pengembangan PLTS dengan menggunakan metode energystorage yang berupa baterai untuk menyimpan

kelebihan energi yang dibangkitkan agar dapat digunakan pada malam hari (Purwoto, 2018).

Untuk mempermudah dalam proses analisis dapat digunakan beberapa software salah satunya adalah HOMER. HOMER adalah software model simulasi yang mensimulasikan sistem yang layak untuk semua kemungkinan kombinasi peralatan yang dipertimbangkan pertimbangankan. Homer bekerja berdasarkan 3 hal, yaitu simulasi, optimasi, dan analisa sensitifitas. Ketiga hal tersebut bekerja secara beruntun dan memiliki fungsi masing- masing, sehingga didapat hasil yang optimal (Purwoto, 2018).



Gambar 2.8. Contoh Tampilan Homer (Purwoto, 2018)



Gambar 2.9 Contoh Grafik Pada Homer (Purwoto, 2018)

## 1 Optimasi Software HOMER untuk Perencanaan PLTS

Untuk dapat memprediksi dan menganalisa distribusi energi listrik dan spesifikasi komponen perancangan digunakan fitur desain proyek (project design) pada HOMER. Pada fitur ini simulasi akan dijalankan dengan cara membuat terlebih dahulu desain dari sistem perencanaan rancangan PLTS. Berikut langkah pembuatan desain proyek menggunakan software HOMER :

a) Menetapkan Proyek

Dengan cara menentukan jenis proyek atau jenis PLTS. Dilanjutkan dengan membuat proyek baru dan mendefinisikan proyek seperti nama proyek, lokasi dan data meteorologi.

b) Menetapkan Perbedaan Sistem

Dengan cara menentukan orientasi terlebih dahulu seperti jenis penyangga panel surya, kemiringan panel, dan azimuth, lalu menentukan sistem PLTS, dengan memilih jenis dan jumlah inverter dan modul surya. Selain itu terdapat parameter opsional, seperti pemilihan profil horizon sesuai lokasi, yang dapat ditambahkan dengan impor data dari software lain.

c) Menjalankan Simulasi

Setelah memilih *Grid-Connected*, maka keluarlah tampilan pada gambar 2.14 sebagai tampilan membuat proyek baru dan menuliskan nama proyek yang akan dirancang.

### 2.2. Kajian Pustaka Relevan

Ada banyak penelitian yang dilakukan tentang perencanaan PLTS dari segi teknik maupun ekonomis. Adapun beberapa penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

Pada penelitian ini merancang PLTS berkapasitas 20 kWp pada atap rumah yang mampu membangkitkan 20 kW pada jam-jam efektif matahari. Rancangan PLTS ini akan terdiri dari panel-panel surya inverter dan beberapa alat pengaman serta kWh meter, namun pada studi ini akan membahas panel surya dan inverternya saja. Kemudian akan membahas analisis pengaruh pergerakan matahari dan orientasi pemasangan, analisis produksi dan rugi-rugi pembangkitan, analisis manfaat penghematan dan analisis ekonominya. Rancangan disimulasikan dengan

aplikasi HOMER dengan input 56 modul ber-plot 4 string dan 2 array. Analisis perspektif plotting untuk mengetahui pengaruh pergerakan matahari dan orientasi plotting terhadap besar produksi energi listrik juga dilakukan. Dari hasil simulasi, didapatkan besar pengurangan energi iradiasi matahari pada kolektor sebesar 15,4%. Kemudian Produksi energi listrik satu tahun simulasi dapat mencapai 23.753 kWh sesuai dengan plotting panel serta pengaruh kemiringan panel dan pergerakan matahari. Rugi-ruginya mencapai angka 17% sehingga rasio pembangkitannya 0.822 yang cukup baik untuk sebuah PLTS karena pada umumnya hanya 0,75 saja. Rugi kolektornya (Array losses) mencapai 0,62 kWh/kWp per harinya sedangkan rugi sistemnya mencapai 0,1 kWh/kWp per harinya. Untuk rincian rugi-ruginya juga dapat di rangkum dalam loss diagram. Payback periodnya pada tahun ke 10 yang dimana waktu asuransi tiap panel suryanya hanya 10 tahun. Lalu dilihat dari nilai NPV pada tahun ke- 25 proyek (umur pembangkit), nilainya sebesar Rp 303.272.654,4. Manfaat penghematan juga sangat baik karena mencapai angka rasio sekitar 44%-50%. (Purwoto, 2018).

Pada suatu penelitian yang menyatakan energi listrik merupakan salah satu kebutuhan masyarakat yang sangat penting dan sebagai sumber daya ekonomis yang paling utama yang dibutuhkan dalam berbagai kegiatan. Dalam waktu yang akan datang kebutuhan listrik akan meningkat seiring dengan adanya peningkatan dan perkembangan baik dari jumlah penduduk, jumlah investasi, perkembangan teknologi termasuk didalamnya perkembangan dunia pendidikan untuk semua jenjang pendidikan. Universitas Tanjungpura merupakan salah satu lembaga pendidikan tinggi yang mengkonsumsi energi listrik cukup besar dengan total daya terpasang 3.086.000 VA. Dari total daya yang terpasang, Fakultas Teknik yang merupakan salah satu fakultas yang berada di Universitas Tanjungpura memakai konsumsi energi listrik sebesar 20 % dari total daya terpasang di Universitas Tanjungpura yaitu sebesar 299.200 VA. Oleh karena itu, menjadi bagian penulis untuk menganalisa analisis kapasitas dan kebutuhan energi listrik untuk upaya menghemat penggunaan energi listrik di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura untuk mengetahui penggunaan listrik di Fakultas Teknik serta kondisi kebutuhan daya yang terpasang dari transformator distribusi untuk supply kebutuhan energi listrik saat ini, mengetahui kondisi beban terpakai dan terpasang di Fakultas Teknik

Universitas Tanjungpura dan mengendalikan atau menekan tingkat pemakaian energi listrik yang berlebihan (Purwoto, 2018).

Kemudian hasil dari penelitian tentang perencanaan PLTS menyebutkan sel surya atau photovoltaic menjadi salah satu energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk diterapkan di Indonesia. Kaliwungu menggunakan sumber energi listrik sistem fotovoltaik komunal., menggunakan data beban di Kaliwungu untuk menentukan kapasitas sistem surya (array fotovoltaik, baterai, pengontrol muatan, dan inverter), potensi pengurangan emisi karbon dioksida, biaya, dan analisis ekonomi. Analisis ekonomi digunakan untuk mengevaluasi kontinuitas sistem fotovoltaik. Analisis yang digunakan beberapa metode. Perhitungan menggunakan software, hasil penelitian menunjukkan untuk mensuplai beban harian sebesar 8.922 kWh dapat disuplai dari sistem fotovoltaik dengan kapasitas hingga 2,85 kWp, baterai sebesar 464.678 Ah, charge controller hingga 60 A, dan inverter sebesar 3500 W. pengurangan emisi karbon dioksida hingga 3.640 ton CO<sub>2</sub>. Nilai Rp -266.351.000,00 untuk NPW, Rp -23.894.600,00 untuk ACF, Rp 714.063.000,00 untuk FW, B-CR adalah 0,3850, dan 29 tahun untuk PP (Purwoto, 2018).

Penelitian selanjutnya yang melakukan perencanaan ini bertujuan untuk merencanakan PLTS sebagai kebutuhan penerangan ternak ayam pedaging (Broiler) di Gang Karya Tani Pontianak Selatan, baik ditinjau dari aspek teknis maupun ekonomis. Metodologi penelitian yang dilakukan dengan melakukan survei dan pengambilan data yang dibutuhkan untuk menentukan dan menghitung besar kapasitas tiap komponen PLTS yang diperlukan. Hasil penelitian menunjukkan besar daya listrik keseluruhan untuk lampu penerangan ayam pedaging di peternakan ayam pedaging (Broiler) di Gang Karya Tani Pontianak Selatan sebesar 463 Watt sedangkan besarnya energi harian untuk peternakan ayam sebesar 4942 Wh. Komponen sistem PLTS yang diperlukan untuk kebutuhan daya listrik keseluruhan adalah 16 panel surya 100 Wp, 3 unit charge controller kapasitas 600 watt dengan tegangan input 12 Volt dan arus 45A, 20 buah baterai 12 Volt 100 Ah dan 1 unit inverter dengan kapasitas tegangan output 600 watt, tegangan input 12 VDC/ 24 VDC dan tegangan output inverter 220 VAC. Berdasarkan aspek ekonomis, perencanaan ini membutuhkan biaya investasi sebesar Rp.94.639.088

dari hasil perhitungan Net Present Value (NPV) perencanaan ini bernilai positif sebesar Rp 56.772,00 ( $>0$ ), menunjukkan bahwa investasi PLTS yang akan dikembangkan di peternakan ayam pedaging (Boiler) di Gang Karya Tani Pontianak Selatan layak untuk dilaksanakan dikembangkan bagi usaha peternak ayam pedaging (Purwoto, 2018).

Penggunaan software HOMER sebagai perancangan PLTS juga telah dilakukan oleh beberapa penelitian. Pada penelitian ini Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 30 kWp adalah pembangkit listrik yang sedang dibangun di kampus Dompok oleh Universitas Maritim Raja Ali Haji (UMRAH). Simulasi yang dilakukan pada pembangkit listrik tenaga surya 30 kWp on-grid bertujuan mendapat gambaran kinerja sistem pembangkit listrik tenaga surya 30 kWp on-grid selama satu tahun, dengan cara menganalisis hasil simulasi software HOMER. Total modul yang disimulasikan sebanyak 135 unit modul surya dengan menggunakan 3 unit inverter. Berdasarkan simulasi, intensitas radiasi matahari yang diterima oleh modul surya adalah 1.502,8 kWh/m<sup>2</sup>/tahun dengan kapasitas produksi energi yang mampu dibangkitkan mencapai 29.607,5 kWh/tahun. Energi listrik tertinggi yang mampu diproduksi yaitu 2.801,6 kWh dengan rata-rata intensitas matahari sebesar 142.08 kWh/m<sup>2</sup> pada bulan Maret. Suhu tertinggi pada modul surya 32,50 C terjadi pada Mei, total losses yang diakibatkan oleh suhu pada modul surya adalah 2.890,59 kWh/tahun dan total losses yang diakibatkan oleh bayangan yaitu 3.248,30 kWh/tahun. Sementara keuntungan energi listrik yang bisa disuplai ke grid sebesar 25.106 kWh/tahun (Guru Arrasyid,2019).

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Tempat Penelitian

#### 3.1.1 Tempat

Penelitian ini dilakukan di Rumah berkapasitas 1300 VA di Kec. Buntu Pane Kabupaten Asahan Sumatera Utara.

#### 3.1.2 Tempat

Waktu pelaksanaan tugas akhir ini berlangsung dimulai dari Juli 2024 sampai November 2024.

Tabel 3. 1 Waktu Penelitian

NO	Uraian	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1	Kajian Literatur						
2	Penyusunan Proposal Penelitian						
3	Penulisan Bab 1 Samapai Bab 3						
4	Pengumpulan Data						
5	Analisa Data						
6	Seminar hasil						
7	Sidang Akhir						

### 3.2 Pendekatan Penelitian

Potensi energi matahari pada rumah berkapasitas 1300 VA di Kec. Buntu Pane Kabupaten Asahan sebagai energi alternatif pemanfaatan PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya). Tiap energi matahari yang diserap oleh panel surya

mempunyai potensi untuk menghasilkan energi listrik. Namun potensi yang ada apabila ingin dimanfaatkan maka harus efektif dan efisien.

Untuk mendapatkan hasil perancangan yang lebih tepat dan akurat maka dibutuhkan bantuan dari aplikasi HOMER. Dimana aplikasi yang digunakan akan membantu untuk merancang dan menentukan kapasitas panel surya yang mampu membebani beban yang telah kita tentukan dan hitung.

### 3.3 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Rumah berkapasitas 1300 VA di Kec. Buntu Pane Kabupaten Asahan? Sumatera Utara

### 3.4 Definisi Operasional Variabel

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	=	Kepanjangan dari Watt Peak artinya adalah kemampuan panel surya untuk menghasilkan daya selama matahari bersinar terik
Ah	=	Ampere Hour adalah satuan dari kapasitas baterai
W/m <sup>2</sup>	=	Satuan dari radiasi matahari
Ampere	=	Satuan dari arus listrik (I)
Volt	=	Satuan dari Tegangan Listrik (Volt)

### 3.5 Teknik Pengumpulan Data

Demi mendukung penelitian ini, adapun data yang diperlukan adalah sebagai berikut :

#### a. Data Intensitas Cahaya Matahari

Data intensitas cahaya matahari dapat diambil melalui software HOMER. Dimana data ini diambil dari Lembaga antariksa Internasional yaitu NASA.

Data yang digunakan adalah data NASA yang diambil pada periode tahun 1983 sampai 2026.

- b. Data Menghitung total Beban dengan Rincian Biaya Pengeluaran Untuk Penggunaan Daya Listrik minimal 2 bulan terakhir.

Total beban didapat dari slip setoran pembayaran yang ada pada rumah berkapasitas 1300 VA di Kec. Buntu Pane Kabupaten Asahan, kemudian dibandingkan dengan total perhitungan beban secara manual untuk mencocokkan data yang ada. Kemudian akan dilihat berapa pengeluaran rata – rata yang dibayarkan untuk penggunaan daya listrik pada rumah tersebut

- c. Data Luas Lahan yang dimiliki rumah

Adapun luas lahan dihitung menggunakan meteran, akan dihitung panjang dan lebar dari lahan tersebut kemudian akan menghasilkan luas lahan. Dimana luas lahan inilah yang akan dibuat perencanaan pemasangan panel surya dengan aplikasi HOMER.

### **3.6 Teknik Perancangan dan Analisis**

Dari data yang telah dikumpulkan, maka langkah selanjutnya adalah proses analisis data yang ada. Adapun langkah – langkah teknik analisis data pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data luas lapangan yang ada kemudian diinput kedalam software untuk mendapatkan berapa kapasitas PLTS yang dapat dipasang pada lapangan tersebut
2. Kemudian data intensitas cahaya matahari yang didapat akan diinput kedalam software HOMER yang telah diinstall kedalam suatu komputer. Dimana data intensitas cahaya matahari ini sebagai parameter daya yang akan diperoleh PLTS.
3. Selanjutnya data beban yang telah dihitung secara berbeda (beban penerangan, motor dan elektronik) akan dihubungkan dengan kapasitas yang dapat dihasilkan PLTS yang telah disimulasikan.
4. Data beban yang lebih efektif digunakan akan ditentukan melalui data daya keluaran PLTS yang dapat dihasilkan.

5. Selanjutnya akan dihitung nilai ekonomis apabila beban rumah disuplai oleh PLTS, dimana nilai ekonomis ini dibantu dengan slip pembayaran rumah oleh PLN. Kemudian akan dihitung berapa tingkat break even point pemasangan PLTS dan keuntungan pemasangan PLTS tersebut.

### 3.6.1 Teknik Perancangan Teknis

Adapun langkah – langkah untuk melakukan perancangan teknis PLTS untuk mensuplai beban pada rumah berkapasitas 1300 VA di Kec. Buntu Pane Kabupaten Asahan adalah sebagai berikut :

1. Menghitung total beban pada rumah berkapasitas 1300 VA di Kec. Buntu Pane Kabupaten Asahan, dimana beban akan dihitung dan diklasifikasikan menjadi 3 bagian yaitu beban motor, elektronik dan beban penerangan. Setelah didapat ke-3 klasifikasi beban maka akan dijumlahkan dan didapat beban total pada rumah berkapasitas 1300 VA di Kec. Buntu Pane Kabupaten Asahan.
2. Merancang kapasitas PLTS sesuai dengan kebutuhan beban yang ada, dimana beban yang telah dihitung digunakan untuk mengetahui kapasitas PLTS yang dipasang agar mampu mensuplai beban.

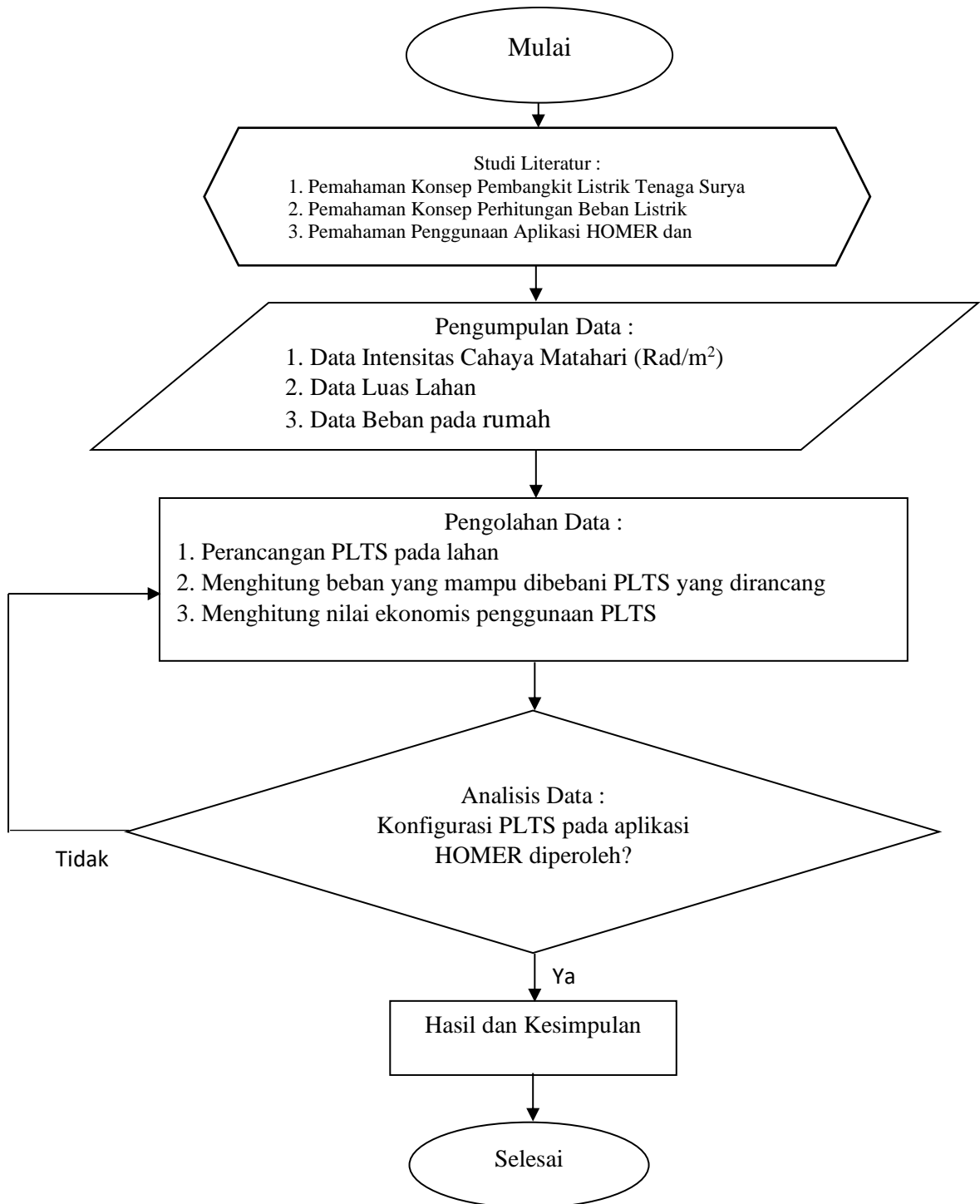
### 3.6.2 Teknik Perancangan Ekonomis

Adapun langkah – langkah untuk melakukan perancangan Ekonomis PLTS untuk mensuplai beban pada rumah berkapasitas 1300 VA di Kec. Buntu Pane Kabupaten Asahan adalah sebagai berikut :

1. Menghitung *Cost of Energy* (COE) atau modal awal yang dibutuhkan untuk pembangunan PLTS sesuai dengan kebutuhan beban yang ada.
2. Menghitung nilai produksi dari PLTS yaitu menentukan berapa biaya yang dibutuhkan PLTS untuk memproduksi listrik / kWh nya/ dimana Nilai produksi ini bergantung pada daya yang dikeluarkan dan modal awal yang dibutuhkan untuk pembangunan PLTS.
3. Menentukan *pay back periode* (PBP) yaitu menentukan berapa lama atau dalam berapa tahun modal awal yang dikeluarkan (COE) dapat dikembalikan atau modal awal sama dengan 0 rupiah.

### 3.7 Bagan Alir Penelitian

Adapun proses alir penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian

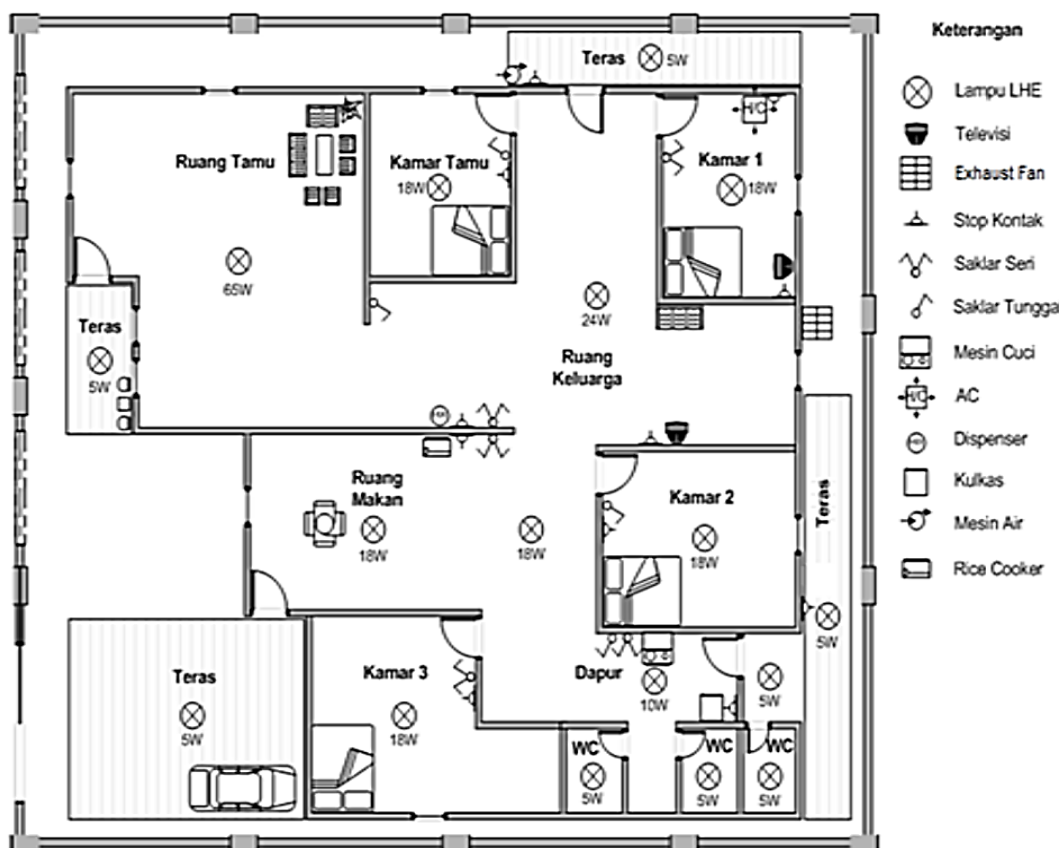
Dari diagram alir 3.4 dapat dijabarkan langkah – langkah dan alur penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mencari peneltian – penelitian sebelumnya dalam bentuk jurnal yang membahas tentang PLTS dan pembebanan yang menggunakan PLTS. Perhitungan beban listrik.
2. Setelah studi literatur dirasa cukup kemudian selanjutnya adalah pengumpulan data. Adapun data yang dikumpulkan meliputi data intensitas cahaya matahari pada lokasi perencanaan PLTS, kemudian data luas lahan yang akan direncanakan akan dipasang PLTS dan terakhir adalah data penggunaan beban pada rumah berkapasitas 1300 VA di Kec. Buntu Pane Kabupaten Asahan
3. Kemudian, setelah data – data dikumpulkan, selanjutnya adalah pengolahan data. Data yang ada seperti data intensitas cahaya matahari dan luas lapangan akan dimasukkan kedalam aplikasi HOMER. Pada aplikasi ini akan dilihat berapa kapasitas yang diperlukan untuk membebani beban pada rumah dengan PLTS terpasang pada lahan. Selanjutnya menghitung tingkat ekonomis apabila PLTS menjadi cadangan daya bagi rumah.
4. Apabila aplikasi berhasil merencanakan PLTS yang ada pada lahan dan kemudian dapat membebani total beban ataupun beban khusus yang telah ditentukan sesuai dengan kapasitas PLTS maka langkah selanjutnya adalah kesimpulan penelitian
5. Pada kesimpulan penelitian ini akhir dari penelitian, dimana proses dari awal sampai akhir penelitian dibuat suatu kesimpulan yang mencakup keseluruhan penelitian.

## BAB IV HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Total Beban

Untuk memudahkan dalam proses perhitungan total beban, maka dilakukan penggambaran beban yang ada pada rumah 1300 VA pada umumnya. Adapun gambar pendataan beban umum pada rumah dengan kapasitas 1300 VA adalah sebagai berikut:



Gambar 4.1 Data Beban Rumah 1300 VA

Dari gambar pendataan beban yang ada pada Rumah 1300 VA pada gambar 4.1 maka didapat tabel klasifikasi penggunaan beban harian adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data Beban Harian Rumah Tangga 1300 VA

No	Nama Beban	Jumlah	Posisi	Daya (Watt)	Lama waktu pemakaian per hari (jam)	Waktu (WIB)
1	Lampu LHE	1	Teras	5	12	18.00 – 06.00
		1	Teras	5	12	18.00 – 06.00
		1	Teras	5	12	18.00 – 06.00
		1	Teras	5	12	18.00 – 06.00
		1	Dapur	5	12	18.00 – 06.00
		1	Wc 1	5	5	18.00 – 23.00
		1	Wc 2	5	5	18.00 – 23.00
		1	Wc 3	5	5	18.00 – 23.00
		1	Ruang Keluarga	24	5	17.00 – 21.00
		1	Ruang Tamu	65	3	17.00 – 21.00
		1	Ruang Makan	18	4	17.00 – 21.00
		1	Ruang Makan	18	4	17.00 – 21.00
		1	Dapur	10	4	17.00 – 21.00
		1	Kamar 1	18	5	17.00 – 22.00
		1	Kamar 2	18	5	17.00 – 22.00
		1	Kamar 3	18	5	17.00 – 22.00
		1	Kamar Tamu	18	5	17.00 – 22.00
2	TV LEDD 39”	1	Ruang Keluarga	110	4	18.00 – 22.00
3	TV LED 21”	1	Kamar Tidur 1	45	4	18.00 – 22.00
4	Exhaust Fan	1	Belakang	35	3	15.00 – 18.00
5	Mesin Cuci	1	Dapur	550	2	15.00 – 17.00
6	Dispenser	1	Kamar Tamu	180	1	16.00 – 17.00
7	Setrika	1	Kondisional	350	1	-
8	Laptop	1	Kondisional	50	3	-

9	Kulkas	1	Dapur	100	24	00.00 – 00.00
10	Rice Cooker	1	Ruang Makan	350	3	06.00 – 09.00

Maka dari tabel 4.1 diatas didapat jenis beban dan jumlah daya yang digunakan dalam satu hari. Apabila di akumulasikan kealam bentuk tabel maka didapat tabel karakteristik beban harian rumah tangga 1300 VA adalah sebagai berikut

Tabel 4.2 Beban Praktikum

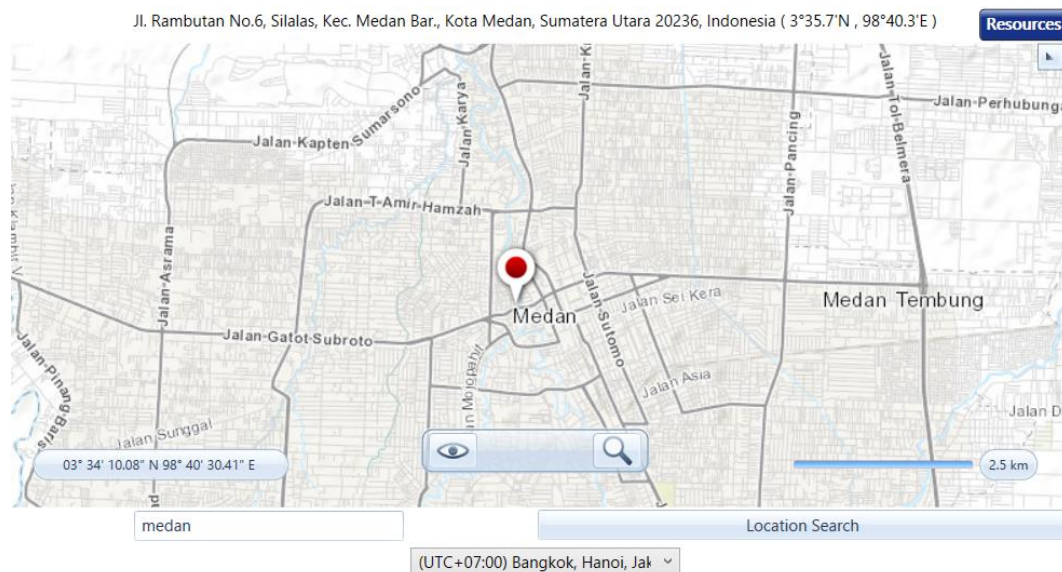
No	Waktu (WIB)	Daya (Watt)
1	00:00	125
2	01:00	125
3	02:00	125
4	03:00	125
5	04:00	125
6	05:00	475
7	06:00	450
8	07:00	450
9	08:00	450
10	09:00	100
11	10:00	100
12	11:00	100
13	12:00	100
14	13:00	100
15	14:00	100
16	15:00	685
17	16:00	865
18	17:00	342
19	18:00	552
20	19:00	552
21	20:00	552

No	Waktu (WIB)	Daya (Watt)
22	21:00	367
23	22:00	140
24	23:00	125
Total		7230

Dari tabel 4.2 dapat dilihat total beban selama satu hari pada rumah berkapasitas 1300 VA adalah sebesar 7.230 Watthour/hari.

#### 4.2. Perencanaan Teknis Kapasitas PLTS

Untuk menentukan kapastias PLTS ditentukan berdasarkan beban yang telah dihitung. Adapun total beban pada beban rumah tangga berkapasitas 1300 VA adalah 7.230 Watt/hari. Untuk mengetahui kapasitas PLTS dibutuhkan ESH pada lokasi penelitian. Nilai ekivalen ESH di Indonesia adalah 4,8 dan secara spesifik pada lokasi penelitian tingkat intensitas rata – rata cahaya matahari adalah sebesar 4,55.



Gambar 4.2 Lokasi Pengambilan Data Matahari pada HOMER

Gambar 4.2 merupakan Lokasi pengambilan data potensi cahaya matahari untuk analisis menggunakan aplikasi HOMER berada di Jl. Rambutan No. 6, Kelurahan Sililas, Kecamatan Medan Barat, Kota Medan, Sumatera Utara,

Indonesia (20236). Secara geografis, titik koordinat lokasi berada pada 3°35.7' Lintang Utara dan 98°40.3' Bujur Timur, dengan zona waktu UTC +07.00 (WIB). Secara spasial, lokasi ini terletak di kawasan inti Kota Medan, tidak jauh dari pusat kota dan berada dalam wilayah permukiman perkotaan yang relatif padat. Posisi ini termasuk dalam wilayah beriklim tropis dengan karakteristik suhu tinggi, kelembapan relatif besar, serta intensitas radiasi matahari yang cukup stabil sepanjang tahun. Kondisi tersebut menjadikan lokasi ini relevan untuk studi potensi energi surya, khususnya dalam simulasi sistem pembangkit listrik tenaga surya menggunakan perangkat lunak HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables).

Dalam konteks pengambilan data, koordinat dimasukkan ke dalam aplikasi HOMER untuk memperoleh data radiasi matahari bulanan (solar global horizontal irradiation), temperatur rata-rata, serta parameter meteorologis pendukung lainnya. Data tersebut digunakan sebagai dasar simulasi teknis dan ekonomis guna merancang sistem energi terbarukan berbasis surya yang sesuai dengan karakteristik lingkungan setempat.

Dengan letaknya yang berada di garis lintang rendah (mendekati garis khatulistiwa), lokasi ini memiliki distribusi radiasi matahari yang relatif merata sepanjang tahun, dengan variasi musiman yang tidak terlalu ekstrem. Hal ini mendukung optimalisasi sistem photovoltaic (PV) dalam perencanaan kapasitas panel, estimasi produksi energi tahunan, serta analisis kelayakan investasi dalam studi menggunakan HOMER.

Tabel 4.3. Data Radiasi Matahari Lokasi Penelitian

Bulan	Clearness Index	Radiasi Matahari (kWh/m <sup>2</sup> /hari)
Jan	0.446	4.315
Feb	0.493	4.990
Mar	0.468	4.888
Apr	0.470	4.866
May	0.445	4.431
Jun	0.461	4.464
Jul	0.440	4.303
Aug	0.448	4.540
Sep	0.421	4.358

Bulan	Clearness Index	Radiasi Matahari (kWh/m <sup>2</sup> /hari)
Oct	0.416	4.225
Nov	0.413	4.017
Dec	0.429	4.067

Berdasarkan hasil ekstraksi data pada aplikasi HOMER untuk lokasi penelitian di Kota Medan, diperoleh profil radiasi matahari bulanan dan nilai clearness index (indeks kejernihan atmosfer) sebagaimana tersaji pada Tabel 4.3. Data ini menggambarkan potensi energi surya rata-rata harian (kWh/m<sup>2</sup>/hari) dan tingkat kejernihan langit yang mempengaruhi intensitas radiasi global yang diterima permukaan bumi.

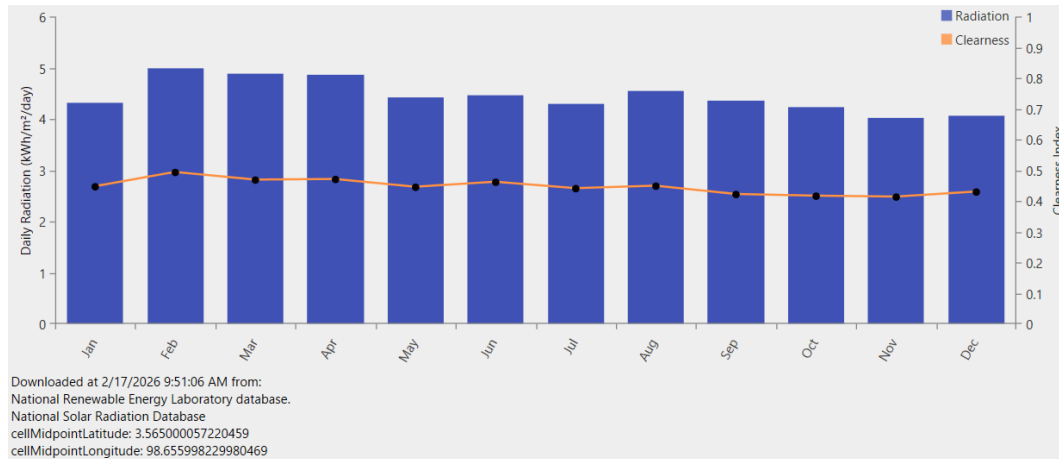
Secara umum, nilai radiasi matahari harian rata-rata berada pada kisaran 4,017 – 4,990 kWh/m<sup>2</sup>/hari, yang menunjukkan potensi energi surya yang relatif stabil sepanjang tahun. Radiasi tertinggi terjadi pada bulan Februari (4,990 kWh/m<sup>2</sup>/hari), diikuti Maret (4,888 kWh/m<sup>2</sup>/hari) dan April (4,866 kWh/m<sup>2</sup>/hari). Kondisi ini mengindikasikan periode awal tahun sebagai fase dengan intensitas penyinaran matahari paling optimal untuk produksi energi listrik tenaga surya.

Sebaliknya, radiasi terendah tercatat pada bulan November (4,017 kWh/m<sup>2</sup>/hari), diikuti Desember (4,067 kWh/m<sup>2</sup>/hari) dan Oktober (4,225 kWh/m<sup>2</sup>/hari). Penurunan ini berkorelasi dengan meningkatnya tutupan awan dan curah hujan pada periode akhir tahun yang secara klimatologis merupakan musim penghujan di wilayah Sumatera Utara.

Dari sisi clearness index, nilai berkisar antara 0,413 hingga 0,493. Indeks tertinggi terjadi pada bulan Februari (0,493), menunjukkan tingkat kejernihan atmosfer yang lebih baik sehingga radiasi matahari lebih optimal mencapai permukaan. Nilai terendah terdapat pada bulan November (0,413), yang mengindikasikan peningkatan hamburan dan penyerapan radiasi oleh awan atau uap air di atmosfer.

Distribusi radiasi yang berada di atas 4 kWh/m<sup>2</sup>/hari sepanjang tahun menunjukkan bahwa lokasi penelitian memiliki kelayakan teknis yang baik untuk pengembangan sistem photovoltaic (PV). Variasi musiman tergolong moderat dan tidak ekstrem, sehingga produksi energi tahunan dapat diproyeksikan relatif stabil.

Data ini menjadi input utama dalam simulasi HOMER untuk menghitung estimasi produksi listrik, kapasitas optimal sistem, serta analisis kelayakan ekonomi pembangkit energi surya di lokasi penelitian.



Gambar 4.2. Grafik Radiasi Matahari pada lokasi penelitian

Grafik hasil keluaran HOMER tersebut menampilkan profil radiasi matahari harian ( $\text{kWh/m}^2/\text{hari}$ ) dan clearness index bulanan pada lokasi penelitian di Kota Medan yang bersumber dari National Solar Radiation Database (NREL). Diagram batang berwarna biru menunjukkan besaran radiasi matahari rata-rata harian, sedangkan garis oranye dengan titik penanda menunjukkan nilai indeks kejernihan atmosfer.

Secara visual terlihat bahwa radiasi matahari berada pada rentang sekitar 4,0 hingga mendekati 5,0  $\text{kWh/m}^2/\text{hari}$  sepanjang tahun. Puncak radiasi terjadi pada bulan Februari, yang mencapai hampir 5  $\text{kWh/m}^2/\text{hari}$ . Nilai ini kemudian sedikit menurun pada Maret dan April, namun tetap berada pada kategori tinggi. Setelah periode tersebut, terjadi fluktuasi moderat hingga akhir tahun, dengan titik terendah terlihat pada bulan November, sebelum kembali meningkat pada Desember.

Garis clearness index memperlihatkan pola yang sejalan dengan radiasi. Nilai indeks tertinggi juga terjadi pada Februari (mendekati 0,5), yang mengindikasikan kondisi atmosfer relatif lebih cerah sehingga radiasi matahari lebih optimal mencapai permukaan. Sementara itu, pada periode September hingga November, nilai indeks menurun (sekitar 0,41–0,43), menunjukkan peningkatan tutupan awan atau kelembapan atmosfer yang memengaruhi intensitas penyinaran.

Stabilitas grafik sepanjang tahun menunjukkan bahwa lokasi penelitian memiliki karakteristik iklim tropis ekuatorial dengan variasi musiman yang tidak ekstrem. Tidak terdapat perbedaan tajam antara musim kemarau dan penghujan dalam konteks potensi radiasi tahunan, sehingga produksi energi surya dapat diproyeksikan relatif konsisten.

Berdasarkan grafik ini, dapat disimpulkan bahwa lokasi penelitian layak secara teknis untuk pengembangan sistem Photovoltaic (PV). Dengan rata-rata radiasi tahunan di atas 4 kWh/m<sup>2</sup>/hari, sistem PLTS yang disimulasikan menggunakan HOMER berpotensi menghasilkan energi yang stabil sepanjang tahun, dengan kinerja optimal pada triwulan pertama.

Pada perencanaan digunakan PLTS dengan spesifikasi yang telah ditentukan, adapun jenis spesifikasi PLTS yang akan digunakan pada perencanaan ini dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Spesifikasi PLTS yang digunakan [21]

<b>Spesifikasi</b>	<b>Keterangan</b>
Max. Power (Pmax)	100W
Max. Power Voltage (Vmp)	18.4V
Max. Power Current (Imp)	5.68A
Open Circuit Voltage (Voc)	22V
Short Circuit Current (Isc)	6.33A
Nominal Operating Cell Temp (NOCT)	45±2°C
Max. System Voltage	1000V
Max. Series Fuse	16A
Weight	8.3 Kg
Dimension	±1005 x 670 x 35 mm
Efisiensi	25%
FF	75%

Berdasarkan Tabel 4.3, panel surya (PLTS) yang akan dipasang memiliki spesifikasi teknis sebagai berikut: Panel memiliki daya maksimum (Pmax) sebesar 100 Wp, yang menunjukkan bahwa dalam kondisi standar (Standard Test Condition/STC), modul mampu menghasilkan daya listrik hingga 100 watt. Nilai

ini menjadi dasar perhitungan kapasitas total sistem apabila beberapa modul dirangkai secara seri maupun paralel.

Pada titik daya maksimum, panel bekerja pada tegangan maksimum ( $V_{mp}$ ) sebesar 18,4 V dan arus maksimum ( $I_{mp}$ ) sebesar 5,68 A. Kombinasi tegangan dan arus ini mencerminkan titik operasi optimal agar keluaran daya mencapai 100 W. Dalam praktik instalasi, parameter ini penting untuk menentukan konfigurasi sistem dan pemilihan charge controller yang sesuai.

Tegangan rangkaian terbuka (Open Circuit Voltage/ $V_{oc}$ ) tercatat sebesar 22 V, yaitu tegangan maksimum ketika panel tidak dibebani. Sementara itu, arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ) sebesar 6,33 A merupakan arus maksimum saat terminal panel dihubungkan singkat. Kedua parameter ini digunakan sebagai dasar perencanaan proteksi sistem, termasuk pemilihan sekering (fuse) dan pengaman arus lebih.

Panel memiliki Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) sebesar  $45 \pm 2^\circ\text{C}$ , yang menunjukkan temperatur kerja sel surya pada kondisi operasi normal di lapangan. Mengingat lokasi penelitian berada di daerah tropis dengan suhu relatif tinggi, parameter NOCT ini penting dalam memperkirakan penurunan efisiensi akibat kenaikan temperatur.

Tegangan sistem maksimum yang diperbolehkan adalah 1000 V, sehingga modul ini dapat dirangkai dalam konfigurasi seri untuk sistem yang lebih besar tanpa melampaui batas desain kelistrikan. Panel juga dilengkapi dengan maksimum series fuse 16 A, sebagai batas arus pengaman dalam instalasi. Secara fisik, panel memiliki dimensi  $1005 \times 670 \times 35$  mm dengan berat 8,3 kg, sehingga relatif mudah dalam proses pemasangan baik pada atap bangunan maupun struktur penyangga (mounting system).

Dari sisi kinerja, panel memiliki efisiensi konversi sebesar 25%, yang menunjukkan kemampuan modul dalam mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Nilai ini tergolong tinggi untuk kategori panel 100 Wp. Selain itu, fill factor (FF) sebesar 75% menunjukkan kualitas karakteristik I–V panel yang baik, sehingga kehilangan daya internal relatif kecil.

Secara keseluruhan, spesifikasi ini menunjukkan bahwa panel 100 Wp yang digunakan memiliki karakteristik teknis yang memadai untuk diintegrasikan dalam sistem PLTS berbasis simulasi HOMER di lokasi penelitian. Parameter daya,

tegangan, arus, dan efisiensi telah memenuhi standar operasional untuk sistem skala kecil hingga menengah dengan kondisi iklim tropis seperti di Kota Medan.

### 1. Penentuan Kapasitas PLTS

Pada beban total beban yang digunakan adalah sebesar 7,23 kWh / hari, kemudian tingkat ESH pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.2 dimana rata – rata ESH perbulan adalah 4,55 kWh/kWp. Maka kapasitas PLTS yang dibutuhkan adalah :

$$\text{Kapasitas PLTS} = \frac{\text{Total Beban}}{\text{ESH}}$$

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas PLTS} &= \frac{7,23}{4,55} \\ &= 1,59 \text{ kWp} \\ &= 1.589 \text{ Wp}\end{aligned}$$

Kapasitas PLTS yang didapat kemudian dikalikan dengan rugi – rugi sistem sebesar 25% , adapun PLTS yang dipasang setelah dikalikan dengan rugi – rugi sistem adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Daya Puncak PLTS} &= (\text{Kapasitas PLTS})+(\text{Kapasitas PLTS} \times \text{Rugi Rugi Sistem}) \\ &= 1589 \text{ Wp} + (1589 \text{ Wp} \times 25\%) \\ &= 1.986,25 \text{ Wp}\end{aligned}$$

### 2. Jumlah Panel

Dimana banyaknya panel surya dengan kapasitas 100 WP yang dibutuhkan untuk mendapatkan daya puncak PLTS adalah :

$$\begin{aligned}\text{Jumlah PLTS} &= \frac{\text{Daya Puncak PLTS}}{\text{Kapastias PLTS/Modul}} \\ &= \frac{1986,25 \text{ Wp}}{100} \\ &= 19,86 \text{ Modul} \\ &= 20 \text{ (Pembulatan)}\end{aligned}$$

### 3. Luas Area yang dibutuhkan

Dari Tabel 4.6 luas area modul panel surya adalah 0,67m<sup>2</sup> untuk setiap modulnya. Untuk memasang 20 Modul dibutuhkan luas area sebagai berikut :

$$\text{Luas Area} = \text{Jumlah Modul} \times \text{Luas PLTS permodul}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas Area} &= 20 \times 0,67 \\ &= 13,4 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Maka untuk mensuplai beban dibutuhkan kapasitas PLTS sebesar 1.986 Wp dengan 20 Modul panel surya berkapasitas 100 Wp dengan luas area yang dibutuhkan adalah sebesar 13,4 m<sup>2</sup>.

#### 4. Kapasitas Baterai yang dibutuhkan

Untuk menentukan kapasitas baterai yang dibutuhkan digunakan persamaan 2.13 yaitu:

$$\text{Kebutuhan Baterai} = \frac{\text{Kapasitas PLTS} \times \text{ESH}}{\text{Kapasitas Baterai}}$$

Maka :

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Baterai} &= \frac{2000 \times 4,55}{1000 \text{ Wh}} \\ &= 9,1 \text{ Unit Baterai} \\ &= \text{Digenapkan Menjadi 10 Unit baterai 1 kWh} \end{aligned}$$

Tabel 4.3 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Teknis PLTS

No	Komponen Perhitungan	Rumus / Dasar Perhitungan	Hasil
1	Total Beban Harian	Diketahui	7,23 kWh/hari
2	Rata-rata ESH Lokasi	Diketahui	4,55 kWh/kWp/hari
3	Kapasitas Awal PLTS	Beban / ESH = 7,23 / 4,55	1,59 kWp (≈ 1.589 Wp)
4	Rugi-rugi Sistem (25%)	1.589 Wp × 25%	397,25 Wp
5	Daya Puncak PLTS	1.589 + 397,25	1.986,25 Wp (≈ 2.000 Wp)
6	Kapasitas Modul	Diketahui	100 Wp/modul
7	Jumlah Modul	1.986,25 / 100	19,86 ≈ 20 modul
8	Luas per Modul	Diketahui	0,67 m <sup>2</sup>
9	Total Luas Area	20 × 0,67	13,4 m <sup>2</sup>
10	Kapasitas Baterai per Unit	Diketahui	1.000 Wh (1 kWh)
11	Kebutuhan Energi Penyimpanan	2.000 Wp × 4,55	9.100 Wh
12	Jumlah Baterai	9.100 / 1.000	9,1 ≈ 10 unit

Berdasarkan hasil perhitungan Tabel 4.3 kebutuhan energi pada lokasi penelitian, total beban listrik harian sebesar 7,23 kWh dipenuhi dengan mempertimbangkan nilai rata-rata Equivalent Sun Hours (ESH) sebesar 4,55 kWh/kWp per hari. Dari perbandingan tersebut diperoleh kapasitas awal PLTS sebesar 1,59 kWp atau setara dengan 1.589 Wp. Dalam perancangan sistem, faktor rugi-rugi teknis seperti temperatur, efisiensi inverter, kabel, dan kehilangan daya lainnya diperhitungkan sebesar 25%, sehingga kapasitas daya puncak PLTS yang perlu dipasang meningkat menjadi 1.986,25 Wp atau dibulatkan sekitar 2 kWp. Untuk memenuhi kapasitas tersebut digunakan panel surya dengan spesifikasi 100 Wp per modul, sehingga jumlah modul yang dibutuhkan adalah 20 unit setelah dilakukan pembulatan dari hasil perhitungan 19,86 modul. Setiap modul memiliki luas 0,67 m<sup>2</sup>, sehingga total area pemasangan yang dibutuhkan mencapai 13,4 m<sup>2</sup>. Selain itu, untuk menjamin kontinuitas pasokan energi, khususnya pada malam hari atau saat kondisi cuaca kurang optimal, sistem dilengkapi dengan baterai penyimpanan. Dengan kebutuhan energi sekitar 9.100 Wh dan kapasitas baterai 1 kWh per unit, maka diperlukan 10 unit baterai. Secara keseluruhan, sistem PLTS yang dirancang memiliki kapasitas sekitar 2 kWp, terdiri atas 20 modul panel surya dan 10 unit baterai, serta membutuhkan area instalasi seluas 13,4 m<sup>2</sup> untuk dapat menyuplai kebutuhan energi harian secara optimal dan andal.

### **4.3. Perencanaan Ekonomis Kapasitas PLTS**

Analisis ekonomis dilakukan untuk mengetahui kelayakan finansial sistem PLTS berkapasitas ±2 kWp dengan konfigurasi 20 modul 100 Wp dan 10 unit baterai 1 kWh dalam menyuplai beban sebesar 7,23 kWh per hari. Evaluasi dilakukan menggunakan parameter Net Present Cost (NPC), Levelized Cost of Energy (LCOE), serta analisis simple payback period.

#### **4.3.1. Dasar Perhitungan**

Asumsi yang digunakan dalam analisis ekonomis adalah sebagai berikut:

1. Beban energi harian : 7,23 kWh/hari
2. Energi tahunan :  $7,23 \times 365 = 2.638,95$  kWh/tahun
3. Umur proyek : 25 tahun

4. Tingkat diskonto (i) : 8% per tahun
5. Biaya operasi dan pemeliharaan (O&M) : 1% dari investasi per tahun
6. Umur baterai : 8 tahun (replacement pada tahun ke-8, 16, dan 24)

#### 4.3.2. Estimasi Biaya Investasi Awal (CAPEX)

Estimasi biaya sistem PLTS berdasarkan harga pasar Indonesia disajikan pada Tabel berikut :

Tabel 4.4 Estimasi Investasi awal PLTS

Komponen	Spesifikasi	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Subtotal (Rp)
Panel Surya	100 Wp	20 unit	700.000	14.000.000
Baterai LiFePO4	1 kWh	10 unit	1.590.000	15.900.000
Inverter Hybrid	3 kW	1 unit	6.080.000	6.080.000
Balance of System	Mounting, kabel, proteksi, dll	-	-	8.000.000
Instalasi & commissioning	-	-	-	6.000.000
<b>Total Investasi (CAPEX)</b>				<b>50.000.000</b>

Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan komponen sistem PLTS, total investasi awal (Capital Expenditure/CAPEX) yang diperlukan untuk pembangunan sistem sebesar  $\pm 2$  kWp adalah Rp50.000.000. Investasi ini mencakup seluruh komponen utama dan pendukung yang dibutuhkan agar sistem dapat beroperasi secara optimal dan andal.

Komponen utama berupa panel surya berkapasitas 100 Wp dipasang sebanyak 20 unit dengan harga satuan Rp700.000, sehingga total biaya untuk modul surya adalah Rp14.000.000. Modul ini merupakan sumber utama pembangkit energi listrik yang mengonversi radiasi matahari menjadi energi listrik DC sesuai kapasitas desain yang telah dihitung sebelumnya.

Sistem penyimpanan energi menggunakan baterai LiFePO4 berkapasitas 1 kWh sebanyak 10 unit dengan harga satuan Rp1.590.000 per unit, sehingga total

investasi baterai sebesar Rp15.900.000. Baterai ini berfungsi sebagai media penyimpanan energi untuk menjaga kontinuitas suplai listrik, terutama pada malam hari atau saat intensitas radiasi matahari rendah.

Selanjutnya, inverter hybrid berkapasitas 3 kW digunakan sebanyak 1 unit dengan harga Rp6.080.000. Inverter berperan sebagai pengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC), sekaligus mengatur manajemen daya antara panel surya, baterai, dan beban listrik.

Komponen pendukung lainnya yang termasuk dalam Balance of System (BOS) seperti struktur mounting, kabel DC dan AC, sistem proteksi (MCB, SPD, grounding), konektor, serta perlengkapan instalasi lainnya dianggarkan sebesar Rp8.000.000. Selain itu, biaya instalasi dan commissioning sistem dialokasikan sebesar Rp6.000.000 untuk mencakup pekerjaan pemasangan, pengujian, konfigurasi, serta proses pengoperasian awal sistem.

Secara keseluruhan, total investasi awal yang diperlukan untuk merealisasikan sistem PLTS dengan kapasitas sekitar 2 kWp beserta sistem penyimpanan 10 kWh adalah sebesar Rp50.000.000. Nilai ini menjadi dasar perhitungan dalam analisis kelayakan ekonomis selanjutnya, termasuk perhitungan Net Present Cost (NPC), Levelized Cost of Energy (LCOE), dan periode pengembalian investasi.

### **4.3.3. Biaya Operasi dan Penggantian**

Biaya operasi dan pemeliharaan tahunan:

$$1\% \times 50.000.000 = 500.000 \text{ Rupiah/tahun}$$

Penggantian baterai dilakukan setiap 8 tahun dengan biaya:

$$10 \times 1.590.000 = 15.900.000 \text{ Rupiah}$$

Replacement dilakukan pada tahun ke-8, 16, dan 24.

Biaya operasi dan pemeliharaan sistem PLTS dihitung sebesar 1% dari total investasi awal (CAPEX) per tahun. Dengan total investasi sebesar Rp50.000.000, maka biaya operasi dan pemeliharaan tahunan yang diperlukan adalah sebesar Rp500.000 per tahun. Biaya ini mencakup kegiatan rutin seperti pembersihan modul surya, pemeriksaan koneksi kabel dan sistem proteksi, inspeksi inverter,

serta perawatan umum guna menjaga kinerja sistem tetap optimal sepanjang masa operasional.

Selain biaya operasional tahunan, komponen baterai memiliki umur pakai terbatas sehingga memerlukan penggantian secara periodik. Dengan asumsi umur baterai selama 8 tahun, maka penggantian dilakukan pada tahun ke-8, ke-16, dan ke-24 selama umur proyek 25 tahun. Biaya penggantian baterai dihitung berdasarkan jumlah baterai yang digunakan, yaitu 10 unit dengan harga Rp1.590.000 per unit, sehingga total biaya penggantian setiap periode adalah sebesar Rp15.900.000. Komponen penggantian ini menjadi faktor penting dalam analisis kelayakan ekonomis karena memberikan kontribusi signifikan terhadap total biaya siklus hidup sistem (life cycle cost).

#### 4.3.4. Net Present Cost (NPC)

NPC dihitung menggunakan persamaan:

$$NPC = CAPEX + \sum \frac{O\&M}{(1+i)^t} + \sum \frac{Replacement}{(1+i)^t}$$

Dengan tingkat diskonto 8% dan umur proyek 25 tahun, diperoleh:

- Nilai kini O&M selama 25 tahun  $\approx$  Rp5.338.000
- Nilai kini replacement baterai  $\approx$  Rp15.738.000
- Nilai investasi awal = Rp50.000.000

Sehingga:

$$NPC \approx 71.076.000 \text{ Rupiah}$$

Berdasarkan perhitungan biaya siklus hidup sistem selama umur proyek 25 tahun dengan tingkat diskonto 8% per tahun, diperoleh Net Present Cost (NPC) sebagai total biaya kini yang harus ditanggung untuk membangun dan mengoperasikan sistem PLTS. NPC ini merupakan akumulasi dari investasi awal (CAPEX) sebesar Rp50.000.000, ditambah nilai kini biaya operasi dan pemeliharaan (O&M) yang dibayarkan setiap tahun, serta nilai kini biaya penggantian baterai (replacement) yang terjadi pada tahun ke-8, 16, dan 24. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai kini O&M selama 25 tahun berada pada kisaran Rp5,34 juta, sedangkan nilai kini replacement baterai berada pada kisaran Rp15,74 juta. Dengan demikian, total NPC sistem PLTS adalah sekitar Rp71,1 juta.

Nilai NPC ini menggambarkan total biaya riil (dalam nilai saat ini) yang diperlukan agar sistem dapat beroperasi secara andal sepanjang umur proyek, sehingga menjadi dasar utama dalam perhitungan biaya energi setara (LCOE) dan evaluasi kelayakan ekonomis sistem.

#### 4.3.5. Levelized Cost of Energy (LCOE)

LCOE dihitung dengan persamaan:

$$LCOE = \frac{NPC}{\sum \frac{Energi_t}{(1+i)^t}}$$

Dengan energi tahunan 2.638,95 kWh dan diskonto 8%, diperoleh:

$$LCOE \approx 2.523 \text{ Rupiah/kWh}$$

Artinya, biaya produksi energi listrik dari sistem PLTS ini adalah sekitar Rp2.523 per kWh dalam perspektif nilai kini selama 25 tahun.

Levelized Cost of Energy (LCOE) merupakan indikator yang digunakan untuk mengetahui besarnya biaya produksi energi listrik per satuan kWh selama umur proyek dengan mempertimbangkan nilai waktu uang (time value of money). Perhitungan LCOE pada sistem PLTS ini dilakukan dengan membagi total Net Present Cost (NPC) sebesar ±Rp71,1 juta dengan total energi listrik terdiskonto yang dihasilkan selama 25 tahun masa operasi.

Dengan beban energi sebesar 7,23 kWh per hari atau sekitar 2.638,95 kWh per tahun, serta menggunakan tingkat diskonto 8% per tahun, diperoleh nilai LCOE sebesar sekitar Rp2.523 per kWh. Nilai ini menunjukkan bahwa setiap 1 kWh energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS secara efektif membutuhkan biaya sekitar Rp2.523 dalam perspektif biaya siklus hidup proyek.

Secara interpretatif, nilai LCOE ini lebih tinggi dibandingkan dengan tarif listrik jaringan PLN, namun masih kompetitif apabila dibandingkan dengan sumber energi berbahan bakar fosil seperti genset. Selain itu, LCOE tersebut mencerminkan bahwa komponen biaya terbesar berasal dari investasi awal dan penggantian baterai yang dilakukan secara periodik, sehingga optimasi kapasitas baterai dan efisiensi sistem menjadi faktor penting dalam meningkatkan kelayakan ekonomis sistem PLTS.

#### 4.3.6. Analisis Payback Period

Jika dibandingkan dengan tarif listrik PLN non-subsidi sebesar ±Rp1.444,70 per kWh, maka biaya listrik PLN tahunan untuk konsumsi yang sama adalah:

$$2.638,95 \times 1.444,70 = 3.812.491 \text{ Rupiah/tahun}$$

Penghematan bersih tahunan setelah dikurangi O&M:

$$3.812.491 - 500.000 = 3.312.491 \text{ Rupiah/tahun}$$

Maka simple payback period adalah:

$$50.000.000/3.312.491 \approx 15 \text{ tahun}$$

Namun, karena terdapat biaya penggantian baterai, maka secara analisis arus kas terdiskonto, sistem ini lebih tepat dinilai dari perspektif keandalan dan kemandirian energi daripada murni penghematan tarif PLN. Jika dibandingkan dengan tarif listrik PLN rumah tangga non-subsidi daya 1.300–2.200 VA sebesar Rp1.444,70/kWh, maka biaya energi setara (LCOE) PLTS yang Anda hitung yaitu Rp2.523/kWh berada lebih tinggi. Artinya, dari sisi biaya per kWh murni, listrik PLN lebih murah dibandingkan listrik yang dihasilkan PLTS off-grid + baterai pada rancangan ini. Selisihnya sekitar Rp1.078/kWh (Rp2.523 – Rp1.444,70), sehingga untuk konsumsi energi tahunan ±2.639 kWh/tahun, biaya “setara” PLTS cenderung lebih besar daripada membeli energi dari jaringan.

Kesimpulannya, penggunaan PLTS pada konfigurasi 2 kWp + baterai 10 kWh ini tidak paling ekonomis bila tujuannya semata-mata menggantikan listrik PLN (karena LCOE lebih mahal). Namun, PLTS tetap bernilai dan layak secara fungsional apabila penelitian/implementasinya ditujukan untuk kemandirian energi, backup saat listrik padam, lokasi yang akses PLN-nya terbatas, atau sebagai pengurang ketergantungan pada sumber listrik konvensional. Dengan kata lain, PLTS ini unggul pada aspek keandalan dan keberlanjutan, sementara dari aspek tarif per kWh masih kalah murah dibanding PLN pada kondisi tarif saat ini.

#### 4.3.7. Kesimpulan Analisis Ekonomis

Berdasarkan hasil perhitungan, sistem PLTS berkapasitas ±2 kWp dengan 10 kWh baterai memerlukan investasi awal sekitar Rp50 juta, dengan total biaya

kini (NPC) sekitar Rp71,1 juta selama 25 tahun. Biaya energi setara (LCOE) diperoleh sebesar Rp2.523 per kWh.

Secara ekonomi, sistem ini relatif lebih mahal dibandingkan listrik PLN jaringan, namun menjadi layak dan rasional jika digunakan pada kondisi:

1. Wilayah tanpa akses jaringan listrik (off-grid).
2. Sistem cadangan (backup) untuk meningkatkan keandalan pasokan.
3. Substitusi genset berbahan bakar fosil dengan biaya operasional tinggi.

Dengan demikian, dari sisi teknis sistem ini layak, sedangkan dari sisi ekonomis kelayakan sangat dipengaruhi oleh harga baterai dan perbandingan sumber energi alternatif yang digunakan sebagai pembanding.

#### **4.4.Pembahasan**

Lokasi penelitian ditetapkan pada titik pengambilan data radiasi matahari yang dimasukkan ke dalam perangkat lunak HOMER. Data keluaran HOMER menunjukkan potensi surya yang relatif stabil sepanjang tahun, dengan nilai radiasi harian rata-rata berada pada kisaran sekitar 4,0–5,0 kWh/m<sup>2</sup>/hari dan nilai Equivalent Sun Hours (ESH) rata-rata bulanan sebesar 4,55 kWh/kWp. Profil ini menegaskan bahwa wilayah penelitian memiliki ketersediaan energi surya yang memadai untuk mendukung sistem PLTS, karena fluktuasi bulanan tidak ekstrem dan masih berada pada tingkat radiasi yang layak untuk produksi energi secara kontinyu.

Berdasarkan kebutuhan energi, total beban listrik harian yang harus disuplai sistem adalah 7,23 kWh/hari. Dengan memanfaatkan ESH 4,55 kWh/kWp, maka kapasitas PLTS dasar dihitung dari pembagian beban terhadap ESH, sehingga diperoleh kebutuhan kapasitas sebesar 1,59 kWp atau setara 1.589 Wp. Dalam implementasi nyata, kapasitas ini belum mencerminkan kehilangan daya yang muncul akibat temperatur modul, rugi-rugi kabel, efisiensi inverter, debu/soiling, mismatch, dan faktor teknis lain. Karena itu, kapasitas dasar kemudian dinaikkan dengan memasukkan rugi-rugi sistem sebesar 25%, sehingga daya puncak PLTS yang perlu dipasang menjadi 1.986,25 Wp atau dibulatkan menjadi sekitar 2 kWp.

Nilai inilah yang digunakan sebagai kapasitas terpasang agar sistem tetap mampu memenuhi kebutuhan beban pada kondisi operasi lapangan.

Untuk memenuhi daya puncak tersebut digunakan modul panel surya berkapasitas 100 Wp. Jumlah modul dihitung dari pembagian daya puncak terhadap kapasitas per modul, yaitu  $1.986,25/100 = 19,86$  modul, kemudian dibulatkan menjadi 20 modul. Spesifikasi modul 100 Wp yang digunakan menunjukkan parameter operasional yang sesuai untuk sistem kecil–menengah, yaitu daya maksimum 100 Wp dengan tegangan pada titik daya maksimum sekitar 18,4 V dan arus sekitar 5,68 A, serta nilai  $V_{oc}$  sekitar 22 V dan  $I_{sc}$  sekitar 6,33 A. Parameter ini menjadi dasar dalam menentukan konfigurasi rangkaian seri/paralel, sekaligus menentukan kebutuhan komponen proteksi dan pengendali pengisian yang aman terhadap batas arus dan tegangan sistem.

Dari sisi kebutuhan ruang, luas satu modul panel sebesar 0,67 m<sup>2</sup>. Dengan jumlah 20 modul, maka luas total area pemasangan yang diperlukan adalah  $20 \times 0,67 = 13,4$  m<sup>2</sup>. Luasan ini mencerminkan kebutuhan minimum bidang pemasangan, yang dalam penerapan biasanya masih perlu tambahan ruang untuk jarak antar panel, kemiringan (tilt), akses perawatan, dan menghindari efek bayangan (shading). Dengan demikian, secara teknis sistem PLTS yang dirancang membutuhkan sekitar 2 kWp kapasitas terpasang, terdiri atas 20 modul 100 Wp, dan membutuhkan area efektif sekitar 13,4 m<sup>2</sup>.

Agar pasokan energi tetap tersedia saat malam hari atau ketika intensitas radiasi turun, sistem dilengkapi baterai sebagai penyimpanan energi. Berdasarkan pendekatan yang Anda gunakan, kapasitas penyimpanan dihitung dengan mengacu pada energi yang perlu disimpan dengan dasar  $(2.000 \text{ Wp} \times 4,55) = 9.100 \text{ Wh}$ . Dengan kapasitas baterai 1.000 Wh (1 kWh) per unit, maka kebutuhan baterai adalah 9,1 unit dan dibulatkan menjadi 10 unit baterai 1 kWh. Hasil ini menunjukkan sistem penyimpanan total sekitar 10 kWh yang bertujuan menjaga kontinuitas suplai sesuai skenario operasi sistem yang dimodelkan.

Setelah desain teknis ditetapkan, dilakukan analisis ekonomis untuk menilai biaya siklus hidup sistem. Investasi awal (CAPEX) dihitung dari komponen utama sistem yaitu panel surya, baterai, inverter, serta komponen pendukung (Balance of System/BOS) dan biaya instalasi. Pada perhitungan Anda, total CAPEX ditetapkan

sebesar Rp50.000.000, yang mencakup 20 panel 100 Wp, 10 baterai 1 kWh, 1 inverter hybrid 3 kW, BOS (mounting, kabel, proteksi, grounding, konektor), serta instalasi dan commissioning. Selain CAPEX, biaya operasi dan pemeliharaan (O&M) diasumsikan 1% per tahun dari CAPEX, sehingga biaya O&M tahunan sebesar Rp500.000 untuk kegiatan perawatan rutin agar kinerja sistem tetap stabil.

Komponen yang paling berpengaruh terhadap biaya jangka panjang adalah baterai, karena memiliki umur pakai terbatas. Dengan asumsi umur baterai 8 tahun, maka penggantian dilakukan pada tahun ke-8, ke-16, dan ke-24. Biaya penggantian setiap periode adalah  $10 \text{ unit} \times \text{Rp}1.590.000 = \text{Rp}15.900.000$ . Biaya replacement ini menjadi faktor dominan dalam total biaya siklus hidup sistem, sehingga harus dimasukkan ke perhitungan nilai kini (present value).

Menggunakan umur proyek 25 tahun dan tingkat diskonto 8%, total biaya kini atau Net Present Cost (NPC) sistem diperoleh sekitar Rp71,1 juta. NPC ini merupakan akumulasi dari investasi awal, nilai kini biaya O&M tahunan selama umur proyek, serta nilai kini penggantian baterai pada tahun ke-8, 16, dan 24. NPC kemudian digunakan untuk menghitung Levelized Cost of Energy (LCOE), yaitu biaya energi setara per kWh selama umur proyek. Dengan energi tahunan sekitar 2.638,95 kWh/tahun, LCOE sistem diperoleh sebesar sekitar Rp2.523/kWh. Nilai ini merepresentasikan biaya produksi listrik dari sistem PLTS dalam perspektif biaya siklus hidup dan nilai waktu uang.

Selanjutnya, payback period digunakan untuk menggambarkan waktu pengembalian investasi dengan membandingkan penghematan biaya listrik terhadap biaya investasi. Jika sistem dianggap menggantikan konsumsi listrik PLN, biaya listrik PLN tahunan untuk energi yang sama dihitung dari 2.638,95 kWh/tahun dikalikan tarif PLN. Dengan tarif sekitar Rp1.444,70/kWh, nilai listrik tahunan yang “digantikan” sekitar Rp3,81 juta per tahun. Setelah dikurangi O&M Rp0,5 juta, penghematan bersih tahunan sekitar Rp3,31 juta, sehingga payback sederhana (tanpa memasukkan diskonto dan replacement baterai) sekitar 15 tahun. Namun bila memperhitungkan replacement baterai dan nilai waktu uang, pengembalian finansial menjadi lebih panjang, karena ada pengeluaran besar pada tahun-tahun tertentu.

Jika dibandingkan langsung dari sisi biaya per kWh, LCOE PLTS sebesar Rp2.523/kWh lebih tinggi daripada tarif PLN sekitar Rp1.444,70/kWh, sehingga secara ekonomi murni (hanya mengejar listrik termurah) PLN masih lebih murah. Namun kesimpulan penggunaan PLTS tidak hanya ditentukan oleh tarif per kWh. Sistem PLTS yang dirancang tetap relevan dan bernilai strategis terutama bila tujuan utamanya adalah meningkatkan keandalan pasokan (backup saat padam), kemandirian energi, atau diterapkan di lokasi dengan keterbatasan akses jaringan. Dengan kata lain, pada rancangan ini PLTS unggul pada aspek keberlanjutan dan ketahanan pasokan, sementara dari sisi biaya energi murni terhadap PLN, masih belum lebih murah karena kontribusi biaya baterai dan penggantian periodiknya cukup besar.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis teknis dan ekonomis yang telah dilakukan terhadap perencanaan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada rumah berkapasitas 1300 VA di Kecamatan Buntu Pane, Kabupaten Asahan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan total beban listrik rumah tangga menunjukkan bahwa kebutuhan energi harian sebesar 7,23 kWh atau setara dengan 2.638,95 kWh per tahun merupakan representasi konsumsi aktual dari kombinasi peralatan listrik yang digunakan secara reguler. Nilai ini tidak hanya mencerminkan daya terpasang, tetapi juga mempertimbangkan pola pemakaian energi (load profile) yang terjadi dalam siklus 24 jam. Dengan kapasitas daya rumah 1300 VA, kebutuhan tersebut masih berada dalam batas operasional sistem distribusi rumah tangga, sehingga memungkinkan integrasi PLTS sebagai sistem pendukung maupun sistem suplai utama. Beban ini menjadi parameter krusial karena seluruh desain kapasitas pembangkit, sistem penyimpanan, serta evaluasi kelayakan ekonomis sangat bergantung pada akurasi estimasi konsumsi energi tersebut.
2. Perancangan kapasitas PLTS dilakukan berdasarkan pendekatan teknis yang mempertimbangkan nilai Equivalent Sun Hours (ESH) rata-rata sebesar 4,55 kWh/kWp. Dengan membagi total kebutuhan energi terhadap ESH diperoleh kapasitas dasar sebesar 1,59 kWp. Namun, untuk memastikan keandalan sistem pada kondisi operasional nyata, dilakukan koreksi terhadap rugi-rugi sistem sebesar 25%, yang mencakup faktor temperatur modul, rugi transmisi kabel, efisiensi inverter, degradasi panel, serta variasi radiasi musiman. Dengan demikian, kapasitas terpasang yang direkomendasikan menjadi sekitar 2 kWp. Implementasi kapasitas ini diwujudkan melalui pemasangan 20 modul panel surya 100 Wp dengan kebutuhan area efektif sekitar 13,4 m<sup>2</sup>. Selain itu, sistem dilengkapi dengan penyimpanan energi sebesar 10 kWh melalui 10 unit baterai 1 kWh guna

menjamin kontinuitas suplai saat tidak terdapat radiasi matahari. Secara teknis, konfigurasi ini dinilai mampu memenuhi kebutuhan beban harian dengan tingkat keandalan yang memadai, serta memiliki margin keamanan terhadap fluktuasi beban dan variasi cuaca.

3. Analisis ekonomis menunjukkan bahwa investasi awal sistem sebesar Rp50.000.000 menghasilkan Net Present Cost (NPC) sekitar Rp71,1 juta selama 25 tahun dengan tingkat diskonto 8%. Nilai Levelized Cost of Energy (LCOE) diperoleh sebesar Rp2.523/kWh, yang menunjukkan biaya produksi listrik dalam perspektif siklus hidup proyek. Jika dibandingkan dengan tarif listrik PLN sekitar Rp1.444,70/kWh, maka biaya listrik dari sistem PLTS masih relatif lebih tinggi secara finansial murni. Hal ini terutama dipengaruhi oleh biaya baterai yang signifikan serta kebutuhan penggantian periodik selama umur proyek. Meskipun demikian, sistem PLTS memberikan nilai tambah strategis dalam aspek keberlanjutan energi, pengurangan emisi, serta peningkatan kemandirian dan keandalan pasokan listrik. Oleh karena itu, dari sudut pandang finansial konvensional sistem ini belum sepenuhnya kompetitif terhadap jaringan PLN, namun dari perspektif energi terbarukan dan ketahanan energi jangka panjang, penerapan PLTS tetap memiliki urgensi dan relevansi yang kuat.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan PLTS pada rumah tangga 1300 secara teknis layak dan mampu memenuhi kebutuhan energi yang direncanakan, sedangkan dari sisi ekonomis, kelayakan implementasi sangat dipengaruhi oleh harga komponen sistem dan kebijakan tarif listrik yang berlaku.

## **5.2. Saran**

1. Optimasi desain teknis berbasis profil beban dan strategi pemanfaatan energi langsung (self-consumption). Pada implementasi berikutnya, disarankan dilakukan pengukuran profil beban harian yang lebih detail (jam puncak, beban dasar, dan beban musiman) agar konfigurasi sistem dapat dioptimalkan. Pengaturan pemakaian peralatan berdaya besar pada siang hari (load shifting) perlu didorong untuk memperbesar porsi energi

yang langsung dikonsumsi dari PV dan mengurangi siklus baterai. Strategi ini tidak hanya meningkatkan keandalan suplai, tetapi juga memperpanjang umur baterai dan menekan biaya penggantian, sehingga berdampak langsung pada penurunan NPC dan LCOE.

2. Penguatan aspek ekonomis melalui pembaruan harga komponen, skenario sensitivitas, dan pemilihan teknologi penyimpanan. Mengingat biaya terbesar pada sistem off-grid berasal dari baterai, penelitian lanjutan disarankan memasukkan analisis sensitivitas terhadap variasi harga panel, baterai, inverter, tingkat diskonto, serta umur baterai. Selain itu, perlu dipertimbangkan opsi teknologi penyimpanan dan konfigurasi yang lebih efisien, seperti penggunaan baterai dengan siklus hidup lebih panjang, penerapan DoD (Depth of Discharge) yang lebih konservatif, atau desain hybrid (PLN–PV) bila jaringan tersedia. Dengan langkah ini, evaluasi kelayakan ekonomi menjadi lebih robust dan representatif terhadap kondisi pasar dan skenario operasional.
3. Peningkatan kualitas implementasi lapangan melalui standar instalasi, proteksi sistem, dan rencana O&M berbasis kinerja. Agar sistem beroperasi aman dan stabil, disarankan penerapan standar instalasi yang memperhatikan proteksi DC/AC (MCB/fuse, SPD, grounding), pemilihan ukuran kabel sesuai arus kerja, serta desain mounting yang mempertimbangkan kemiringan optimal dan minim bayangan. Selain itu, perlu disusun rencana operasi dan pemeliharaan (O&M) yang terukur, misalnya jadwal pembersihan modul, inspeksi koneksi dan proteksi, serta monitoring produksi energi. Monitoring kinerja secara periodik akan memudahkan deteksi penurunan output (akibat debu, shading, degradasi, atau gangguan komponen) sehingga kinerja sistem tetap optimal dan estimasi produksi energi sesuai perencanaan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Purwoto, Bambang Hari. 2018. "Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif." *Emitor: Jurnal Teknik Elektro* 18(01):10–14.
- Martawati, Mira. 2018. "Intensitas Cahaya Terhadap Daya Dari Panel Surya." *Jurnal ELTEK* 16:125–36.
- Yusmiati, E., & Sri. (2014). *Energy supply solar cell*. Diakses dari Repository Universitas Negeri Manado.
- Pasaribu, F. I. (2022). Kajian karakteristik panel surya pada sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi)*, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Setiawan, Wira, Rio Hermawan, and Suardi Suardi. 2018. "Analisa Potensi Angin Dan Cahaya Matahari Sebagai Alternatif Sumber Tenaga Listrik Di Wilayah Laut Sawu." *JST (Jurnal Sains Terapan)* 4(1):57–62.
- Ahmad Wahid, dkk. 2014. "Analisis Kapasitas Dan Kebutuhan Daya Listrik Untuk Menghemat Penggunaan Energi Listrik Di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura." *Jurnal Teknik Elektro UNTAN* 2(1):10.
- Sinaga, Yustinus Andrianus, Ahmad Saudi Samosir, and Abdul Haris. 2017. "Rancang Bangun Inverter 1 Phasa Dengan Kontrol Pembangkit Pulse Width Modulation (PWM)." *Electrician* 11(2):81–90.
- Dzulfikar, Dafi, And Wisnu Broto. 2016. "Optimalisasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga." V:Snf2016-Ere-73-Snf2016-Ere-76.
- Hasyim Asy'ari, Jarmiko, Angga. 2012. "Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Sel Surya." *Simposium Nasional Rapi Xi Ft Ums* 57.
- Suriansyah, Bambang. 2014. "Catu Daya Cadangan Berkapasitas 100 Ah / 12 V Untuk Laboratorium Otomasi Industri Poliban." *Jurnal Intekna* (2):102–209.
- Hamid, Riskha Mirandha, Rizky Rizky, Mohamad Amin, and Ida Bagus Dharmawan. 2016. "Rancang Bangun Charger Baterai Untuk Kebutuhan UMKM." *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)* 4(2):130.
- Hossain, M A Et Al. 2011. "Performance Evaluation Of 1 . 68 Kwp Dc Operated Solar Pump With Auto Tracker Using Microcontroller Based Data Acquisition."
- Hamid, Riskha Mirandha, Rizky Rizky, Mohamad Amin, and Ida Bagus Dharmawan. 2016. "Rancang Bangun Charger Baterai Untuk Kebutuhan UMKM." *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)* 4(2):130.
- Hossain, M A Et Al. 2011. "Performance Evaluation Of 1.68 Kwp Dc Operated Solar Pump With Auto Tracker Using Microcontroller Based Data

Acquisition System.” *International Conference On Mechanical Engineering 2011* 2011(December):18–20.

Studi, Program, Teknik Elektro, Fakultas Teknik, and Universitas Muhammadiyah Semarang. 2017. “Jurnal Tugas Akhir Analisa Beban Arus Pada Inverter Dan Trafo Pada Waktu Pemakaian Dan Pengisian Aki.”:1–16.

Ramadhan, Anwar Ilmar, Ery Diniardi, and Sony Hari Mukti. 2016. “Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP.” *Teknik* 37(2):59.

Stefanie, Arnisa and Insani Abdi Bangsa. 2021. “Hybrid Generator Thermoelektrik Panel Surya Thin Film Sf 170-S Cis 170 Watt Pada Plts 1 Mw Cirata.” *Jurnal Teknik Elektro Uniba (JTE UNIBA)* 6(1):154–60.

Diantari Aita Retno, Erlina, Widyastuti Christine. 2018. “Studi Penyimpanan Energi Pada Baterai PLTS.” *Energi & Kelistrikan* 9(2):120–25.

Gultom, Togar Timotheus. 2015. “Pemanfaatan Photovoltaic Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya.” *Jurnal Mudira Indure* 1(3):33–42.

Syukri, Mahdi and Kata Kunci. 2010. “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpadu Menggunakan Software PVSYST Pada Komplek Perumahan Di Banda Aceh.” *Jurnal Rekayasa Elektrika* 9(2):77–80.



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

NAMA : Rahmat Fitrah Daulay  
NPM : 2107220034  
Fakultas/Jurusan : TEKNIK ELEKTRO  
Judul Skripsi : Perencanaan Teknis Dan Ekonomis PLTS Untuk Mensuplay Beban Rumah Tangga Kapasitas 1300 VA Di Kec. Buntu Pane Kab. Asahan

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	9/1-2021	Perbaiki rumus	
2	29/1-2021	Tambahkan analisis	
3	10/2-2021	Perbaikan Baspus	
4	5/4-2021	Ace Sidang	
5			
6			
7			

Mengetahui  
Dosen Pembimbing

Noorly Evallina, S.T., M.T.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### DATA DIRI PENULIS

Nama : Rahmat Fitrah Daulay  
NPM : 2107220034  
Tempat, Tanggal Lahir : Aek Belu, 04 Desember 2002  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Alamat : Dusun V Aek Belu  
Agama : Islam  
Pekerjaan : Mahasiswa  
No. Telp : 081396957126  
Email : rahmatfitrahdaulay@gmail.com

### DATA DIRI ORANG TUA

Nama Ayah : M. Arif Daulay  
Agama : Islam  
Nama Ibu : Nuraini Rambe  
Agama : Islam  
Alamat : Dusun V Aek Belu

### RIWAYAT PENDIDIKA

2009 - 2015 : SD Negeri 013845 Lestarai  
2015 - 2018 : MTSS Al- Hidayah Perapat Janji  
2018 - 2021 : SMKN 2 Kisaran  
2021 - 2026 : S1 Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU)