

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK**  
**TENAGA SURYA *OFF-GRID* DENGAN KAPASITAS 3270 WP**  
**JENIS *MONOCRYSTALLINE* PADA RUMAH TINGGAL**  
**SECARA TEKNIS DAN EKONOMIS**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh:**

**RAFLI FIKRI**  
**1807220025**



**UMSU**  
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
**MEDAN**  
**2023**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

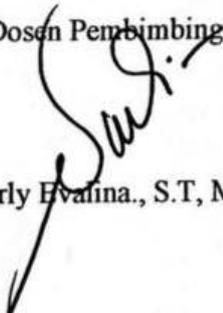
Nama : Rafli Fikri  
NPM : 1807220025  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Tugas Akhir : Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya  
*Off-grid* Dengan Kapasitas 3270 Wp Jenis *Monocrystalline*  
Pada Rumah Tinggal Secara Teknis Dan Ekonomis  
Bidang Ilmu : Energi Baru dan Terbarukan

Telah berhasil dipertahankan dihadapan 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, 28 Februari 2022

Mengetahui dan menyetujui:

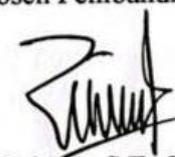
Dosen Pembimbing

  
Noorly Evalina., S.T, M.T

Dosen Pembanding I

  
Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

Dosen Pembanding II

  
Rohana, S.T., M.T

Prodi Studi Teknik Elektro  
Ketua,

  
Faisal Irsan Pasaribu, S.T, M.T

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Rafli Fikri  
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 19 Juli 2000  
NPM : 1807220025  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Elektro

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

**“Analisis Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Off-Grid* Dengan Kapasitas 3270 Wp Jenis *Monocrystalline* Pada Rumah Tinggal Secara Teknis Dan Ekonomis”**,

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 hakikatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga 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, 28 Februari 2022

Saya yang menyatakan,



Rafli Fikri

## ABSTRAK

Konsumsi listrik yang mayoritas menggunakan pembangkit listrik dengan bahan baku batu bara dan minyak bumi memiliki efek jangka panjang yang akan berakibat pada pemanasan global. Permasalahan lain yang kerap muncul adalah kenaikan biaya listrik konvensional atau listrik PLN dapat mencapai 9,7% per tahunnya yang secara tidak langsung berdampak pada tingkat perekonomian dan juga tingkat kesejahteraan masyarakat. Oleh karena itu, tantangan di masa ini adalah bagaimana mengembangkan alternatif penggunaan listrik yang dapat menekan pengeluaran listrik konvensional, salah satunya yaitu penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah untuk menganalisis seberapa efisien pemakaian PLTS untuk rumah tinggal sebagai alternatif untuk mengatasi kenaikan listrik konvensional ini. Waktu pelaksanaan perancangan dilakukan dalam waktu 10 hari dari tanggal 1 Februari 2023 sampai 10 Februari 2023 di Jalan Perunggu No. 70 LK. V Kelurahan Kota Bangun, Kecamatan Medan Deli, Kota Medan, Sumatera Utara, 20243. Panel yang dipasang adalah jenis Panel Surya *Monocrystalline* berkapasitas 3270 Wp, dengan Baterai berkapasitas 19200 Ah dan Inverter kapasitas 5kVA 4kW dengan Efisiensi 21,1%. Adapun tahapan dalam penelitian ini adalah menentukan kebutuhan daya listrik, menentukan kapasitas panel surya, menentukan kebutuhan baterai, menentukan kapasitas inverter, mengitung *Break Even Point* (BEP). Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kesimpulan untuk biaya perancangan PLTS *Off-Grid* pada rumah tinggal yang menjadi investasi awal sebesar Rp. 71.894.000 dan untuk biaya pemeliharaan selama 5 tahun sebesar Rp. 35.600.000 jadi biaya pertahun yang harus disediakan sebesar Rp. 715.000. Energi yang digunakan sebesar 17,844 kWh dengan tarif harian sebesar Rp 27.000 dan tarif perbulannya Rp 810.000. Untuk pemasangan jangka 25 tahun, biaya balik modal adalah 22 Tahun, sehingga dapat dikatakan penggunaan PLTS ini dapat menghemat 3 tahun pemakaian listrik PLN.

**Kata Kunci:** panel surya, energi listrik terbarukan, pemanfaatan PLTS, daya

## **ABSTRACT**

*The majority of electricity consumption uses power plants with coal raw materials and petroleum has a long -term effect that will result in global warming. Another problem that often arises is that the increase in the cost of conventional electricity or PLN electricity can reach 9.7% per year which indirectly has an impact on the level of the economy and also the level of welfare of the community. Therefore, the challenge at this time is how to develop alternative use of electricity that can reduce conventional electricity expenditure, one of which is the use of solar power plants (PLTS). The purpose of this final project is to analyze how efficient the use of PLTS for homes as an alternative to overcome this conventional electricity increase. The design time is carried out within 10 days from February 1, 2023 to 10 February 2023 on Perunggu Street No. 70, Lk. V Kota Bangun Village, Medan Deli District, Medan City, North Sumatra, 20243. The panel installed is a type of solar panel Monocrystalline with a capacity of 3270 WP, with a battery capacity of 19200 AH and an inverter capacity of 5KVA 4KW with an efficiency of 21.1%. The stages in this study are to determine the need for electric power, determine the capacity of solar panels, determine the needs of the battery, determine the inverter capacity, calculate the break even point (BEP). Based on the results of the study, conclusions were concluded for the cost of off-grid PLTS design in residential houses which were the initial investment of Rp. 71,894,000 and for a 5 -year maintenance cost of Rp. 35,600,000 so the annual cost that must be provided is Rp. 715,000. The energy used is 17.844 KWH with a daily rate of Rp 27,000 and the monthly tariff is Rp. 810,000. For capital back costs is 22 years, so it can be said that the use of this PLTS can save 3 years of PLN electricity usage.*

**Keywords:** *solar panels, renewable electrical energy, utilization of PLTS, power*

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid Dengan Kapasitas 3270 Wp Jenis Monocrystalline Pada Rumah Tinggal Secara Teknis Dan Ekonomis” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Ibu Noorly Evalina, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I dan juga Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Rohana, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukkan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan dan mengajarkan ilmunya kepada penulis.
6. Orang tua penulis Bapak Khairuddin dan Ibu Masitah, serta saudara/i kandung penulis Muhammad Aldian dan Annisa Khairina atas dukungan moril maupun materil dan kasih sayang tulus selama ini kepada penulis.

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 depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan Ilmu Teknik Elektro.

Medan, 28 Februari 2022

Rafli Fikri

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>ABSTRAK</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>5</b>
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	5
2.2 Landasan Teori	8
2.2.1 Panel Surya	9
2.2.1.1 Prinsip Kerja Sel Surya	10
2.2.1.2 Modul Sel Surya	17
2.2.1.3 Jenis Panel Sel Surya	13
2.2.1.3.1 <i>Polycrystalline</i>	13
2.2.1.3.2 <i>Monocrystalline</i>	14
2.2.1.3.3 <i>Thin Film</i>	15
2.2.1.3.4 <i>Panel Surya Amorf</i>	16
2.2.2 <i>Photovoltaic</i>	19
2.2.3 Analisis Energi Solar	21

2.2.4 Daya Listrik	22
2.2.5 <i>Standart Test Condition</i> (STC)	24
2.2.6 <i>Solar Charge Controller</i>	25
2.2.6.1 Jenis Solar Charge Controller	25
2.2.6.1.1 <i>Pulse width Modulation</i> (PWM)	25
2.2.6.1.2 <i>Solar charge controller MPPT (Maximum Power Point Tracking)</i>	26
2.2.6.2 Cara Kerja Charge Controller	28
2.2.7 Baterai	28
2.2.7.1 Jenis–Jenis Baterai	30
2.2.7.1.1 Baterai Primer (Baterai Sekali Pakai)	30
2.2.7.1.2 Baterai Sekunder (Baterai Isi Ulang/ <i>Rechargeable</i> )	32
2.2.7.1.3 <i>State of Charge</i> (SOC)	34
2.2.7.1.4 Karakteristik Baterai <i>Valve Regulated Lead Acid</i> (VRLA)	35
2.2.8 Power Inverter	35
2.2.8.1 Jenis Gelombang Yang Dihasilkan Oleh Power Inverter	36
2.2.8.1.1 <i>Inverter Modified Sine Wave</i>	36
2.2.8.1.2 <i>Inverter Square Wave</i>	37
2.2.8.1.3 <i>Inverter Pure Sine Wave</i>	37
2.2.8.2 Macam-macam Inverter Dan Cara Kerjanya	38
2.2.8.2.1 <i>Solar Inverter</i>	38
2.2.8.2.2 <i>Inverter Stand Alone</i>	40
2.2.8.2.3 <i>Interruption Power Supply</i> (UPS)	42
2.2.8.2.4 <i>Variable Speed Drive</i> (VSD)	43
2.2.8.2.5 <i>Portable / Inverter Mobil</i>	41
2.2.8.2.6 <i>Inverter Multilevel</i>	41
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>46</b>
3.1 Waktu dan Tempat Perancangan	46
3.1.1 Waktu Perancangan	46

3.1.2 Tempat Perancangan	46
3.1.3 Bahan dan Alat	46
3.2 Diagram Alir	47
3.3 Blok Diagram	48
3.4 Skematik Diagram	48
3.5 Metode Penelitian	49
3.5.1 Menentukan Kebutuhan Daya Listrik	49
3.5.2 Menentukan Kapasitas Panel Surya	49
3.5.3 Menentukan Kebutuhan Baterai	50
3.5.4 Menentukan Kapasitas Inverter	51
3.5.5 Menghitung <i>Break Even Point</i> (BEP)	51
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>52</b>
4.1 Kebutuhan PLTS dan Pemakaian Energi Listrik PLN	52
4.1.1 Kebutuhan Kapasitas Panel Surya	Error! Bookmark not defined.
4.1.2 Kebutuhan Kapasitas Baterai	54
4.1.3 <i>Inverter</i>	54
4.1.4 Menentukan Tarif Harian Beban Rumah	54
4.2 Biaya Pemasangan PLTS	55
4.3 Perhitungan BEP ( <i>Break Even Point</i> )	57
<b>BAB 5 PENUTUP</b>	<b>58</b>
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran	58
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>59</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>61</b>
<b>LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>	<b>70</b>

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 3.1	Spesifikasi Panel Surya jenis Monocrystalline	50
Tabel 3.2	Spesifikasi baterai Panel Surya	50
Tabel 3.3	Spesifikasi Inverter MPPT Pure Sine Wave	51
Tabel 4.1	Beban PLTS untuk rumah tinggal	52
Tabel 4.2	Beban terpasang	52
Tabel 4.3	Tarif harian	54
Tabel 4.4	Kebutuhan dan biaya PLTS untuk rumah tinggal	55
Tabel 4.5	Biaya pemeliharaan	56
Tabel 4.6	Biaya investasi selama 25 tahun	56

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sistem instalasi menggunakan solar cell off-grid	13
Gambar 2.2	Modul Sel Surya	18
Gambar 2.3	Panel Surya Polycrystalline	14
Gambar 2.4	Panel Surya Monocrystalline	15
Gambar 2.5	PLTS Thin Film	16
Gambar 2.6	Panel Surya Amorf	17
Gambar 2.7	Standart Test Condition (STC)	25
Gambar 2.8	Solar charge controller PWM	26
Gambar 2.9	Solar charge controller MPPT	26
Gambar 2.10	Baterai untuk Sel Surya	29
Gambar 2.11	Baterai Primer	31
Gambar 2.12.	Baterai Sekunder	33
Gambar 2.13	Inverter Modified Sine Wave	37
Gambar 2.14	Inverter Square Wave	37
Gambar 2.15	Inverter Pure Sine Wave	38
Gambar 2.16	Solar Inverter	39
Gambar 2.17	Interruptible Power Supply (UPS)	43
Gambar 2.18	Variable Speed Drive (VSD)	43
Gambar 2.19	Inverter mobil	41
Gambar 2.20	Inverter Multilevel	42
Gambar 3.1	Tempat Perancangan	46
Gambar 3.2	Diagram alir penelitian	47
Gambar 3.3	Blok Diagram PLTS Rumah Tinggal	48
Gambar 3.4	Skematik Diagram	49

## DAFTAR LAMPIRAN

Gambar 7.1	Lokasi Penelitian	61
Gambar 7.2	Panel terpasang	62
Gambar 7.3	Tiang Penyangga Panel Surya	62
Gambar 7.4	Pembersihan	63
Gambar 7.5	Spesifikasi PLTS	64
Gambar 7.6	Spesifikasi Inverter dan MPPT	65
Gambar 7.7	Rak kontrol Panel Surya	66

# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan konsumsi energi terbesar di Asia Tenggara, sehingga strategi penghematan energi, biaya dan pengurangan emisi menjadi isu penting di negara ini. Subsidi yave dicabut menyebabkan tarif listrik naik, terutama untuk pelanggan rumah tangga (Evalina et al. 2019).

Menurut Kepres No. 5 Tahun 2005 pasal 1, Energi adalah daya yang dapat digunakan untuk melakukan berbagai proses kegiatan meliputi listrik, mekanik dan panas. Energi terbarukan adalah sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang secara alamiah tidak akan habis dan dapat berkelanjutan jika dikelola dengan baik, antara lain: panas bumi, bahan bakar nabati (*biofuel*), aliran air sungai, panas surya, angin, biomassa, biogas, ombak laut, dan suhu kedalaman laut.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada dasarnya adalah pencatuan daya (alat yang menyediakan daya) dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik yang kecil sampai dengan besar, baik secara mandiri maupun dengan Hybrid (dikombinasikan dengan sumber energi lain, seperti PLTS-Genset, PLTS-Angin).

Panel surya adalah sebuah komponen yang mengubah energi cahaya matahari menjadi listrik, panel surya akan mengeluarkan tegangan dan arus bila disinari cahaya matahari, molekul cahaya yang bergerak mengandung energi sehingga bila mengenai sel surya akan menyebabkan aliran elektron pada sel tersebut, tegangan keluaran panel bergantung pada besarnya intensitas cahaya, *fotovoltaik* bekerja mendeteksi dan menyerap energi cahaya dengan menggunakan panel surya (Harahap, Nofri, and Lubis 2021) (Noorly Evalina et al. 2021).

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (*Off-Grid*) merupakan sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari tanpa terhubung dengan jaringan PLN atau dengan kata lain satu-satunya sumber pembangkitnya yaitu hanya menggunakan radiasi matahari dengan bantuan panel surya atau photovoltaic untuk dapat menghasilkan energi listrik sistem PLTS *Off- Grid* sendiri juga hanya dimanfaatkan untuk daerah yang tidak terjangkau pasokan

listrik dari PLN seperti daerah pedesaan. (Aas Wasri, Hasanah ; Koerniawan 2018)

Sistem PLTS terinterkoneksi (*On Grid*) atau yang disebut dengan *Grid Connected PV System* adalah sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari untuk menghasilkan listrik. Dan sesuai dengan namanya, maka sistem ini akan dihubungkan dengan jaringan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi matahari melalui modul surya atau *photovoltaic module* yang menghasilkan listrik semaksimal mungkin. (Rezky Ramadhana et al. 2022)

Setiap tahun tarif dasar listrik akan mengalami peningkatan akibat konsumsi listrik yang terus meningkat. Berdasarkan Keputusan Menteri ESDM Nomor 143K/20/MEM/2019 tentang Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional Tahun 2019 sampai dengan Tahun 2038, ESDM memproyeksikan rata-rata pertumbuhan kebutuhan energi listrik nasional mencapai 6,9% per tahun.

Seiring dengan meningkatnya populasi manusia dan krisis listrik sangat bisa terjadi. Ditambahnya dengan melonjaknya harga bahan bakar dan pemakaian bahan bakar fosil untuk pembangkit listrik konvensional dalam jangka waktu yang cukup lama sehingga cadangannya juga semakin menipis. Krisis listrik ini harus menjadi perhatian semua masyarakat terutama pemerintah karena jika tidak diantisipasi krisis ini akan semakin cepat terjadi. Selain lebih bijak dalam menggunakan listrik, beralih menggunakan energi baru dan terbarukan dengan pemasangan panel surya dapat menjadi solusi untuk penghematan listrik dan mencegah krisis listrik di Indonesia.

Kenaikan listrik konvensional atau listrik PLN ini sangat besar terutama bagi yang non subsidi. Tingkat kenaikannya dapat mencapai 9,7% per tahunnya. Penyebabnya sendiri bisa diakibatkan oleh berbagai faktor. Namun yang paling berperan dalam kenaikan tarif listrik adalah harga bahan bakarnya. Hal ini secara tidak langsung berdampak pada tingkat perekonomian dan juga tingkat kesejahteraan masyarakat.

Memang tagihan listrik setiap tahunnya tidak mengalami kenaikan. Namun, sekali terjadi peningkatan, persentase kenaikan dapat mencapai 30%. Dilihat dari segi penggunaannya, manfaat dan fungsi panel surya ini sangat ramah lingkungan saat digunakan karena tidak menggunakan bahan bakar konvensional. Energi

utamanya berasal dari matahari dan bisa didapatkan dengan gratis.

Berdasarkan latar belakang masalah diatas maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian tentang judul “Analisis Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid Dengan Kapasitas 3270 Wp Jenis Monocrystalline Pada Rumah Tinggal Secara Teknis Dan Ekonomis”.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang permasalahan diatas, maka yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menghitung beban listrik rumah tinggal?
2. Bagaimana perancangan PLTS secara teknis?
3. Bagaimana nilai ekonomis PLTS pada rumah tinggal?

## **1.3 Ruang Lingkup**

Adapun hal-hal yang akan dibatasi dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung beban listrik rumah tinggal.
2. Menghitung biaya perancangan PLTS secara teknis.
3. Menghitung nilai ekonomis PLTS pada rumah tinggal.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah tersebut maka tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung beban rumah tinggal.
2. Perancangan PLTS secara teknis.
3. Perancangan PLTS secara ekonomis.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah agar mampu mengetahui perbandingan biaya pengeluaran listrik konvensional dan menggunakan PLTS. Selain itu, untuk mengetahui tingkat efisiensi pemakaian PLTS untuk rumah tinggal sebagai cadangan energi listrik. Adapun manfaat pemasangan pembangkit listrik tenaga

surya ini mampu mengurangi pemanasan global yang tiap tahunnya meningkat.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Adapun sistematika penulisan Tugas Akhir secara singkat diuraikan sebagai berikut:

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini akan menguraikan penjelasan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, ruang lingkup permasalahan, tujuan penelitian, manfaat penelitian, sistematika penulisan.

### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini menjelaskan tentang tinjauan pustaka relevan, yang mana berisikan tentang teori-teori penunjang keberhasilan didalam masalah pembuatan Tugas Akhir ini. Ada juga teori dasar yang berisikan tentang penjelasan dari dasar teori dan penjelasan komponen utama yang digunakan dalam penelitian ini.

### **BAB 3 METODE PENELITIAN**

Pada bab ini menjelaskan tentang letak lokasi penelitian, fungsi-fungsi dari alat dan bahan penelitian, tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pengerjaan, tata cara dalam pengujian, dan struktur dari langkah-langkah pengujian.

### **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini menjelaskan tentang analisis hasil dari penelitian, serta penyelesaian masalah yang terdapat didalam penelitian ini.

### **BAB 5 PENUTUP**

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari penelitian dan saran-saran positif untuk pengembangan penelitian ini.

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Berdasarkan kajian pustaka yang telah banyak dilakukan penelitian tentang pembangkit listrik tenaga surya dengan hasil yang sudah dipublikasikan secara nasional maupun internasional adalah sebagai berikut:

Kebutuhan listrik adalah kebutuhan dasar masyarakat Indonesia. Peningkatan jumlah penduduk di Indonesia mengakibatkan kebutuhan listrik semakin meningkat. Oleh karena itu, produksi energi listrik perlu ditingkatkan untuk memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia. Namun, kebutuhan listrik tidak dapat dipenuhi oleh pembangkit listrik yang dimiliki oleh negara. Oleh karena itu, energi terbarukan didorong oleh pemerintah untuk menjaga ketahanan dan kemandirian energi. Mengkonversi energi surya menjadi energi listrik melalui perangkat panel surya adalah salah satu contoh alternatif untuk mendapatkan energi terbarukan. Pada penelitian ini, bertujuan untuk menganalisis terkait faktor keekonomian sistem *on grid* pembangkit listrik tenaga surya pada beban rumah tangga tipe 2200VA dengan dua jenis profil beban yang berbeda. Hasil perhitungan faktor keekonomian energi untuk sistem *on grid* pembangkit listrik tenaga surya berdasarkan atas perhitungan *Net Present Cost* (NPC) dan *Break Even Point* (BEP) dengan cara membandingkan hasil dari rumah sebelum dan sesudah menggunakan sistem *on grid* PLTS. Berdasarkan hasil analisis pada rumah teliti diperoleh penurunan daya sebesar 21,89% dibandingkan dengan rumah banding. Sehingga, NPC dapat turun sebesar 13,12%-15,31% dengan rentang tagihan listrik sebesar Rp 23.060.260,00 – Rp 25.195.970,00. Sedangkan, hasil analisis dengan melihat kecepatan modal kembali atau BEP menunjukkan bahwa sistem *on grid* PLTS pada rumah teliti lebih unggul dibandingkan dengan rumah banding dengan hasil pada jenis BEP *Simple Payback* sebesar 7,60 tahun dan *Discounted Payback* sebesar 8,73 tahun. (Pramudita, Aprillia, and Ramdhani 2021)

Adapun jenis penelitian yang dilakukan yaitu Metode Kualitatif dengan cara penelitian langsung atau disebut *direct observation*. Penelitian diawali dengan

pengambilan data secara langsung kemudian melakukan analisis. Dengan hasil Input inverter menghasilkan lebih besar 0.106 KWh/Day daripada output inverter yang menghasilkan 0,073 Kwh/Day. Dan besar daya PLN sebelum tersinkronisasi grid inverter 0,351 KWh/Day kemudian menurun atau menghemat 0.272 KWh/Day. Hal itu menyebabkan adanya selisih penghematan selama sehari penyinaran mencapai 0,079 KWh/Day. Terlihat bahwasanya antara daya output panel surya sangat mempengaruhi besar kecilnya daya output grid/PLN. Kapasitas panel surya menggunakan grid inverter dalam hal ini menghemat pengeluaran listrik dengan cara membagi beban bersama dengan PLN. Untuk mendalami kemampuan sistem plts on grid sebaiknya menggunakan Kwh Exim yang dapat mengetahui ekspor energi ke PLN. (Rezky Ramadhana et al. 2022)

Kualitas daya listrik yang tidak memadai menyebabkan tidak berfungsinya dan bahkan dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik. Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) Off-grid merupakan pembangkit listrik yang berdiri sendiri/*standalone* tidak terhubung ke jaringan. Sistem ini menggunakan media penyimpanan seperti baterai untuk menjaga ketersediaan listrik ketika malam hari maupun ketika intensitas matahari menurun. PLTS memiliki modul PV yang bekerja berdasarkan intensitas sinar matahari yang ditangkap dan inverter yang dapat merubah tegangan DC menjadi AC dimana seperti yang diketahui di dalam inverter terdapat komponen-komponen non linier yang dapat mengakibatkan buruknya kualitas daya listrik dalam hal ini total harmonik distorsi dan variasi tegangan berubah-ubah. Hal ini dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan listrik. Kualitas daya listrik dari PLTS Off-Grid STT-PLN akan dianalisis dan dibandingkan dengan standar IEEE 519-1992 dan SPLN 1:1995. Berdasarkan hasil pembahasan bahwa nilai THDi dan THDv masih di atas batas standar yang ditetapkan yaitu sebesar 5%. (Rezky Ramadhana et al. 2022)

Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan listrik di desa Loeha wilayah kecamatan Towuti adalah penyediaan sumber energi baru dan terbarukan yang ramah lingkungan sebagai alternatif untuk penambahan suplai listrik yaitu sistem kelistrikan PLTS Off Grid. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang sistem kelistrikan PLTS Off Grid dengan Kapasitas 1000 Watt di desa Loeha kecamatan Towuti Kabupaten Luwu Timur agar nantinya dapat mengatasi

permasalahan kelistrikan yang terjadi di wilayah ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peralatan yang dibutuhkan untuk mendukung sistem kelistrikan. PLTS Off Grid 1000Watt adalah *Photovoltaic* (PV) atau sel Surya berjumlah 4 buah dengan spesifikasi teknis; *type cell monocrystalline*, efisiensi cell > 15 %, daya maksimum 260 Wp. *Solar Charge Controller* yang menggunakan teknologi MPPT dengan spesifikasi teknis; tegangan kerja PV max 140 VDC, tegangan kerja baterai 48 VDC, Arus Output max 60 A, efisiensi >97 %, dan kapasitas 1000 Watt. Battery bank Deep cycle dengan spesifikasi teknis; tipe baterai *Deep Cycle OPzV*, tegangan nominal 2 V/cell, *Cycle life* >1200, DOD 80 %, dan kapasitas 160 Ah. Dan *Bidirectional inverter* dengan Spesifikasi teknis; Tegangan Input DC (nominal) 50,4 V, Tegangan input dengan batas 40-64 V, Arus masukan 131 A, Arus Charging 100 A, Frekuensi tegangan dan arus 50 Hz, Daya keluaran konstan 1 KVA (Naim 2020).

Pulau Cemara merupakan kawasan wisata yang belum teraliri energi listrik, hal ini dikarenakan letak Pulau Cemara yang jauh dari daratan sehingga PLN tidak dapat menjangkau tempat ini. Hal ini menjadi kendala bagi warga setempat, sehingga mengakibatkan tidak optimalnya aktivitas wisata pantai dan alam wilayah tersebut. Photovoltaic (PV) merupakan komponen berbentuk sel-sel yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik melalui efek photovoltaic. Dengan menggunakan PV, dapat dibangun sebuah pembangkit listrik tenaga surya yang akan menjadi solusi permasalahan di Pulau Cemara. Namun, dibutuhkan analisis secara teknis dan ekonomi dalam pembangunannya. Dari hasil perhitungan perancangan PLTS, didapat jumlah kapasitas panel surya sebesar 8x150Wp, solar charge controller sebesar 40A, baterai 4x100Ah, dan inverter 2000Watt. Dengan menggunakan Homer, dapat diketahui jumlah daya yang dihasilkan oleh panel surya sebesar 1746kWh/tahun. Dengan investasi awal sebesar \$3745, pada skenario menggunakan bunga sebesar 6 %, didapat nilai NPC sebesar \$6354 , nilai COE sebesar \$1,06/kWh, dan BEP terjadi pada tahun ke-11. Sedangkan biaya yang perlu ditanggung oleh 11 pengelola Pulau Cemara adalah \$3,76 per bulan. Pada skenario tanpa menggunakan bunga didapat nilai NPC sebesar \$8848, nilai COE sebesar 0,755\$/kWh dan BEP terjadi pada tahun ke-25.

Sedangkan biaya yang perlu ditanggung oleh 11 pengelola adalah \$2,68 per bulan (Bagaskoro, Windarta, and Denis 2019).

## **2.2 Landasan Teori**

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah peralatan pembangkit listrik yang mengubah daya matahari menjadi listrik. PLTS sering juga disebut *Solar Cell*, atau *Solar Photovoltaic*, atau Solar Energi. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik. DC (*Direct Current*), yang dapat diubah menjadi listrik AC (*Alternating Current*) apabila diperlukan. Oleh karena itu meskipun mendung, selama masih terdapat cahaya, maka PLTS dapat menghasilkan listrik.

Komponen utama dalam sistem PLTS adalah panel surya yang merupakan rakitan dari beberapa sel surya. Sel surya tersusun dari dua lapisan semikonduktor dengan muatan berbeda. Lapisan atas sel surya itu bermuatan negatif sedangkan lapisan bawahnya bermuatan positif. Sel-sel itu dipasang dengan posisi sejajar dan seri dalam sebuah panel yang terbuat dari aluminium ataupun baja anti karat yang dilindungi oleh kaca atau plastik.(Bagaskoro et al. 2019)

Salah satu pemanfaatan sumber energi terbarukan yang cukup potensial di Indonesia adalah energi sinar matahari. Indonesia merupakan negara yang secara geografis terletak tepat di garis khatulistiwa dan memberikan berbagai keuntungan serta potensi besar dalam hal pemanfaatan energi matahari. Hal ini dikarenakan besarnya radiasi matahari bergantung pada letak garis lintang, kondisi atmosfer, dan posisi matahari terhadap garis khatulistiwa. Indonesia mempunyai tingkat radiasi rata-rata yang relatif tinggi yaitu sebesar 4,80 kWh/m<sup>2</sup> /hari .(Bagaskoro et al. 2019)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya pada dasarnya adalah pencatuan daya (alat yang menyediakan daya) dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik yang kecil sampai dengan besar, baik secara mandiri, maupun dengan Hybrid (dikombinasikan dengan sumber energi lain, seperti PLTS-Genset, PLTS-Angin).

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (Off-Grid) merupakan sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari tanpa terhubung dengan jaringan PLN atau dengan kata lain satu-satunya sumber pembangkitnya

yaitu hanya menggunakan radiasi matahari dengan bantuan panel surya atau photovoltaic untuk dapat menghasilkan energi listrik sistem PLTS Off- Grid sendiri juga hanya dimanfaatkan untuk daerah yang tidak terjangkau pasokan listrik dari PLN seperti daerah pedesaan.(Aas Wasri, Hasanah ; Koerniawan 2018)

Indonesia merupakan negara dengan konsumsi energi terbesar di Asia Tenggara, sehingga strategi penghematan energi, biaya dan pengurangan emisi menjadi isu penting di negara ini. Penghapusan subsidi menyebabkan tarif listrik dinaikkan, terutama untuk pelanggan rumah tangga. Oleh karena itu, daya reaktif yang mengakibatkan hilangnya daya aktif harus dikurangi agar listrik yang digunakan pelanggan menjadi lebih baik (Evalina et al. 2019).

Sumber energi alternatif adalah istilah yang mengarah pada energi yang tidak akan habis apabila dipakai secara terus menerus. Salah satu sumber energi alternatif adalah gelombang sungai (RAHMAN and Agustina 2021).

### **2.2.1 Panel Surya**

Panel Surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik, yaitu disebut surya atau matahari atau “sol” karena matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan. Panel Surya sering kali disebut fotovoltaiik yang dapat diartikan sebagai “cahaya-listrik”. Sel Surya atau sel PV bergantung pada efek fotovoltaiik untuk menyerap energi matahari dari penyebab arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan.

Panel surya merupakan alat utama yang memiliki peran sangat penting dalam pembangkit listrik tenaga surya. Panel surya berfungsi untuk mengubah energi surya (matahari) menjadi energi listrik. Dalam sebuah panel surya terdapat rangkaian sel surya yang dihubungkan secara seri atau parallel. Sel surya ini yang akan menerima cahaya matahari dan merubahnya menjadi sumber energi (Martawati 2018).

Jumlah penggunaan panel surya diporsi pemroduksian listrik dunia sangat kecil, tertahan oleh biaya tinggi per wattnya dibandingkan dengan bahan bakar bakar fosil-dapat lebih tinggi sepuluh kali lipat, tergantung keadaan. Mereka telah menjadi rutin dalam beberapa aplikasi yang terbatas seperti menjalankan “buoy” atau alat di gurun dan area terpencil lainnya, dan dalam eksperimen mereka telah

digunakan untuk memberikan tenaga untuk mobil balap dalam kontes seperti Tantangan surya dunia di Australia.

Untuk menghitung jumlah panel surya yang dibutuhkan bisa dengan rumus.  $\text{Kebutuhan Panel Surya} = \text{Konsumsi Daya} : \text{Waktu Optimal} \times \text{Besarnya Panel Surya (Wp)}$  maka bisa mengetahui berapa panel surya yang dibutuhkan.

### 2.2.1.1 Prinsip Kerja Sel Surya

Sinar Matahari terdiri dari partikel sangat kecil yang disebut dengan Foton. Ketika terkena sinar Matahari, Foton yang merupakan partikel sinar Matahari tersebut menghantam atom semikonduktor silikon Sel Surya sehingga menimbulkan energi yang cukup besar untuk memisahkan elektron dari struktur atomnya. Elektron yang terpisah dan bermuatan Negatif (-) tersebut akan bebas bergerak pada daerah pita konduksi dari material semikonduktor. Atom yang kehilangan Elektron tersebut akan terjadi kekosongan pada strukturnya, kekosongan tersebut dinamakan dengan "*hole*" dengan muatan Positif (+) (Stefanie and Bangsa 2021).

Prinsip kerja dari panel surya adalah jika cahaya matahari mengenai panel surya, maka elektron-elektron yang ada pada sel surya akan bergerak dari N ke P, sehingga pada terminal keluaran dari panel surya akan menghasilkan energi listrik. Besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya berbeda-beda tergantung dari jumlah sel surya yang dikombinasikan di dalam panel surya tersebut. Keluaran dari panel surya ini adalah berupa listrik arus searah (DC) yang besar tegangan keluarannya tergantung dengan jumlah sel surya yang dipasang didalam panel surya dan banyaknya sinar matahari yang menyinari panel surya tersebut (Ramadhan, Diniardi, and Mukti 2016).

Daerah Semikonduktor dengan elektron bebas ini bersifat negatif dan bertindak sebagai pendonor elektron, daerah semikonduktor ini disebut dengan semikonduktor tipe N (*N-type*). Sedangkan daerah semikonduktor dengan hole bersifat positif dan bertindak sebagai penerima (*Acceptor*) elektron yang dinamakan dengan Semikonduktor tipe P (*P-type*).

Di persimpangan daerah positif dan negatif (*PN Junction*), akan menimbulkan energi yang mendorong elektron dan hole untuk bergerak ke arah yang berlawanan. Elektron akan bergerak menjauhi daerah negatif sedangkan hole akan bergerak menjauhi daerah positif. Ketika diberikan sebuah beban berupa lampu maupun perangkat listrik lainnya di persimpangan positif dan negatif (*PN Junction*) ini, maka akan menimbulkan arus listrik.

Sel surya ini dapat menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang tidak terbatas langsung diambil dari matahari, tanpa ada bagian yang berputar dan tidak memerlukan bahan bakar. Sehingga sistem sel surya sering dikatakan bersih dan ramah lingkungan. Bandingkan dengan sebuah generator listrik, ada bagian yang berputar dan memerlukan bahan bakar untuk dapat menghasilkan listrik. Suaranya bising, selain itu gas yang dihasilkan dapat menimbulkan efek gas rumah kaca (*greenhouse gas*) yang pengaruhnya dapat merusak ekosistem planet bumi kita.

Sistem sel surya yang dapat digunakan di permukaan bumi terdiri dari panel sel surya, rangkaian kontroler pengisian (*charge controller*), dan aki (baterai) 12 volt yang *maintenance free*. Panel sel surya merupakan modul yang terdiri dari beberapa sel surya yang dihubungkan seri dan paralel tergantung ukuran dari kapasitas yang diperlukan.

Rangkaian kontroler pengisian aki dalam sistem sel surya merupakan rangkaian elektronik yang mengatur proses pengisian akinya. Kontroler ini dapat mengatur tegangan aki dalam selang tegangan 12 volt. Bila tegangan turun sampai 10.8 volt berarti sisa tegangan pada aki 2.2 volt, maka kontroler akan mengisi aki dengan panel surya sebagai sumber dayanya. Tentu saja proses pengisian itu akan terjadi bila berlangsung pada saat ada cahaya matahari. Jika penurunan tegangan terjadi pada malam hari, maka kontroler akan memutus pasokan energi listrik.

Setelah proses pengisian itu berlangsung selama beberapa jam, tegangan aki itu akan naik bila tegangan aki itu mencapai 12 volt, maka kontroler akan menghentikan proses pengisian aki itu. Rangkaian kontroler pengisian aki sebenarnya mudah untuk dirakit sendiri. Tapi, biasanya rangkaian kontroler ini sudah tersedia dipasaran. Memang harga kontroler itu cukup mahal kalau dibeli sebagai unit sendiri.

Kebanyakan sistem sel surya itu hanya dijual dalam bentuk paket lengkap

itu jelas lebih murah dibandingkan dengan bila merakit sendiri. Biasanya panel surya itu diletakkan dengan posisi lurus menghadap matahari. Padahal bumi itu bergerak mengelilingi matahari, agar dapat terserap secara maksimum sinar matahari itu harus diusahakan selalu jatuh tegak lurus pada permukaan panel surya.

Sebuah *solar cell* menghasilkan kurang lebih tegangan 0.5 Volt. Jadi sebuah panel surya 12 Volt terdiri dari kurang lebih 36 sel untuk menghasilkan 17 Volt tegangan maksimum (Diantari Aita Retno, Erlina 2018). Bahan sel surya sendiri terdiri dari kaca pelindung dan material *adhesive* transparan yang melindungi bahan sel surya dari keadaan lingkungan kemudian material anti-refleksi untuk menyerap lebih banyak cahaya dan mengurangi jumlah cahaya yang dipantulkan, semikonduktor P-type dan N-type (terbuat dari campuran silikon) untuk menghasilkan medan listrik, saluran awal dan saluran akhir (terbuat dari logam tipis) untuk mengirim elektron ke perabot listrik. Cara kerja sel surya sendiri sebenarnya identik dengan piranti semikonduktor dioda.

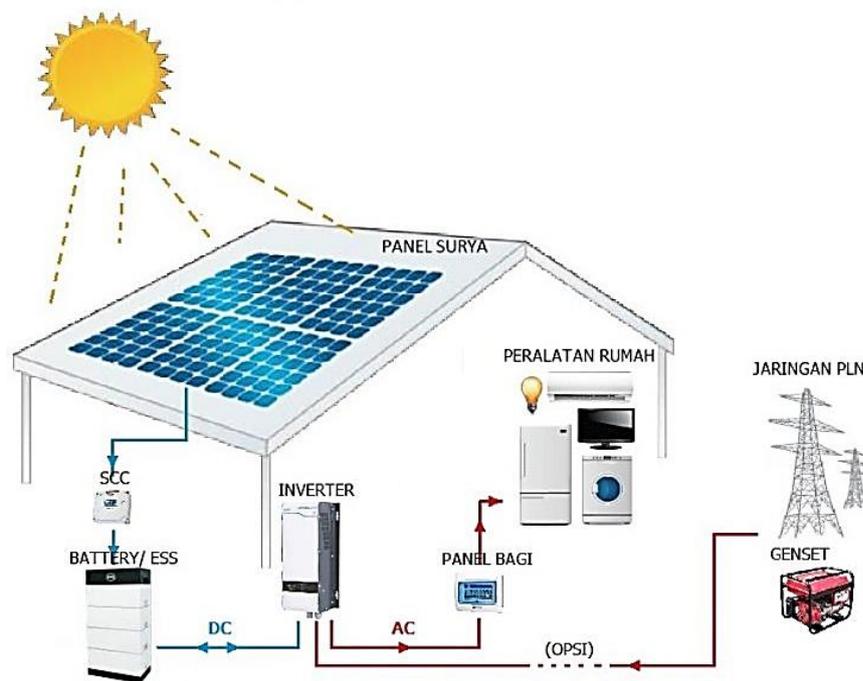
Ketika cahaya bersentuhan dengan sel surya dan diserap oleh bahan semikonduktor, terjadi pelepasan elektron. Apabila elektron tersebut bisa menempuh perjalanan menuju bahan semi-konduktor pada lapisan yang berbeda, terjadi perubahan sigma gaya-gaya pada bahan. Gaya tolakan antar bahan semikonduktor, menyebabkan aliran medan magnet listrik, dan menyebabkan elektron dapat disalurkan ke saluran awal dan akhir untuk digunakan pada perabot listrik.

PLTS Hybrid adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang didukung oleh teknologi Hybrid, maksudnya, sistem listrik yang dihasilkan oleh panel surya dapat digabungkan dengan listrik dari PLN. Dengan harapan nantinya sistem tersebut memudahkan pengguna untuk mendapatkan dukungan energi listrik yang optimal sekaligusantisipasi saat terjadi kekurangan daya atau pemadaman.

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (*Off-Grid*) merupakan sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari tanpa terhubung dengan jaringan PLN atau dengan kata lain satu-satunya sumber pembangkitnya yaitu hanya menggunakan radiasi matahari dengan bantuan panel surya atau photovoltaic untuk dapat menghasilkan energi listrik sistem PLTS Off- Grid sendiri juga hanya dimanfaatkan untuk daerah yang tidak terjangkau pasokan

listrik dari PLN seperti daerah pedesaan.

Sistem *off-grid* menjadikan tidak lagi tunduk pada persyaratan dan kebijakan PLN, karena kebutuhan listrik harian sudah sepenuhnya disuplai dari tenaga surya. Meskipun begitu, biasanya pemilik rumah masih tetap memasang meteran listrik PLN walaupun hanya sekedar membayar biaya beban saja. Beda lagi kalau meterannya pakai token, tentu nggak perlu lagi membeli voucher mingguan atau bulanan. Sistem instalasi *solar cell off-grid* dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Sistem instalasi menggunakan *solar cell off-grid*

### 2.2.1.2 Jenis Panel Surya

Adapun beberapa jenis panel surya yang biasanya ditemui adalah sebagai berikut:

#### 1. Polycrystalline

*Polycrystalline* merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak. Tipe *polycrystalline* yang tampak pada Gambar 2.3 memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis *monocrystalline* untuk menghasilkan daya listrik yang sama, akan tetapi dapat menghasilkan listrik pada saat mendung.

Jenis ini terbuat dari beberapa batang kristal silikon yang dilebur atau dicairkan kemudian dituangkan dalam cetakan yang berbentuk persegi. Kemurnian kristal silikonnya tidak sempurna pada sel surya monocrystalline, karenanya sel surya yang dihasilkan tidak identik satu sama lain dan efisiensinya lebih rendah, sekitar 13% - 16%. Tampilannya nampak seperti ada motif pecahan kaca di dalamnya. Bentuknya yang persegi, jika disusun membentuk panel surya, akan rapat dan tidak akan ada ruangan kosong yang sia-sia. (Alamsyah, Hiendro, and Abidin 2019)



Gambar 2.2. Panel Surya *Polycrystalline*

## **2. Monocrystalline**

Sel surya jenis ini merupakan panel yang efisien yang dihasilkan dengan teknologi terbaru dan menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Monokristalin dirancang untuk penggunaan tempat-tempat yang beriklim ekstrim dengan kondisi cuaca yang kurang menentu. Sel surya monocrystalline juga dikenal sebagai sel-sel kristal tunggal. Monocrystalline sangat mudah diidentifikasi karena berwarna hitam pekat. Sel monocrystalline terbuat dari bentuk silikon yang sangat murni, membuatnya menjadi bahan paling efisien untuk konversi sinar matahari menjadi energi. (Alamsyah et al. 2019)

Panel surya monocrystalline menghasilkan karakter tegangan output yang relatif stabil. Intensitas cahaya matahari berpengaruh terhadap kinerja panel surya dalam menghasilkan energi listrik. Selain intensitas cahaya matahari yang mengenai permukaan panel surya, suhu sangatlah berpengaruh terhadap performa panel surya.(Alamsyah et al. 2019)

Panel Surya *Monocrystalline* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.3. Panel Surya *Monocrystalline*

### 3. Thin Film

*Thin Film*, biasanya diperuntukan untuk pemanfaatan skala besar dan skala industri karena peringkat efisiensinya yang lebih rendah. Namun, Anda tetap bisa menggunakannya di rumah. Tipe panel ini dibuat dengan mendepositkan lapisan tipis zat photovoltaik ke permukaan padat, seperti kaca.

PLTS dapat dipasang juga pada jendela kaca dengan jenis panel surya thin film yang memiliki sifat lebih fleksibel, ringan, dan tipis sehingga dapat dipasang pada jendela kaca. Untuk menganalisis hasil penerapan panel surya thin film photovoltaic pada jendela kaca dengan pemasangan vertikal. Pengujian yang dilakukan terdiri dari dua tahap, tahap pertama yaitu pengujian parameter. Pengujian tahap dua, yaitu pengujian panel surya yang telah dipasang frame jendela dengan parameter (panel-kaca rapat, dan panel di dalam). Dapat

menghasilkan efisiensi 10,74% pada saat intensitas maksimum yang didapat pada saat pengujian.(Purwarupa et al. 2021)

PLTS *Thin Film* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.4. PLTS *Thin Film*

#### **4. Panel Surya *Amorf***

Panel Surya *Amorf* adalah tidak benar-benar kristal, tetapi lapisan tipis silikon diendapkan pada bahan dasar seperti logam atau gelas untuk membuat panel surya. Amorf paduan dari silikon dan karbon (amorf silikon karbida juga dihidrogenasi,  $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{H}$ ) adalah varian yang menarik. Pengenalan atom karbon menambahkan ekstra derajat kebebasan untuk mengontrol sifat-sifat materi. Film ini juga bisa dibuat transparan untuk cahaya tampak.

Peningkatan konsentrasi karbon dalam paduan memperlebar kesenjangan elektronik antara konduksi dan valensi band (juga disebut “gap optik” dan celah pita). Hal ini berpotensi dapat meningkatkan efisiensi cahaya dari sel surya yang dibuat dengan amorf karbida lapisan silicon. Disisi lain, sifat elektronik sebagai semikonduktor (terutama mobilitas elektron), yang terpengaruhi oleh isi

meningkatnya karbon dalam paduan, karena gangguan meningkat pada jaringan atom. Panel Surya Amorf dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.5 Panel Surya *Amorf*

Beberapa studi ditemukan dalam literatur ilmiah, terutama menyelidiki efek parameter deposisi pada kualitas elektronik, tetapi aplikasi praktis dari karbida silikon amorf pada perangkat komersial masih kurang.

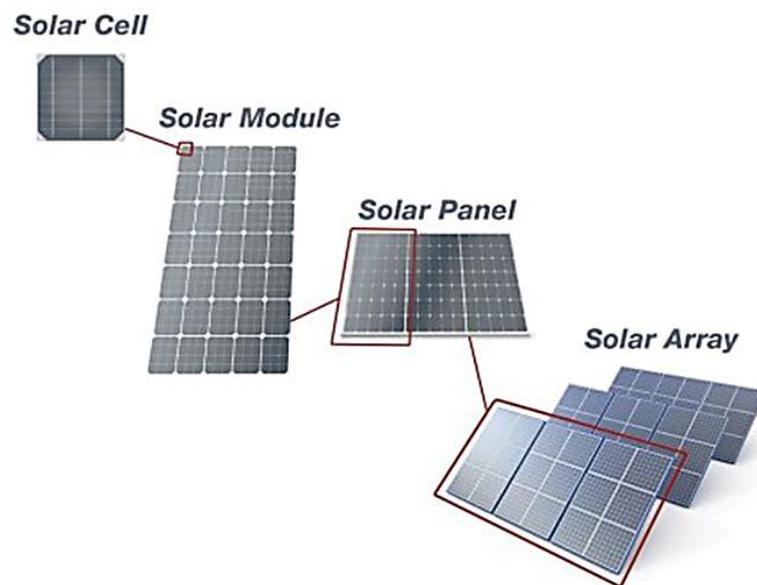
### **2.2.1.3 Modul Sel Surya**

Modul surya terbuat dari bahan semikonduktor. Jenis bahan yang umum digunakan dalam pembuatannya ialah silikon, galium arsenida, dan kadmium telurida. Semua jenis bahan ini memiliki kemampuan untuk mengubah sinar matahari menjadi listrik secara langsung. Sel surya di dalam modul surya akan menyerap sinar matahari sehingga terbentuk kondisi elektron bebas dan lubang-lubang yang terhubung dalam kondisi positif dan negatif. Ketika beban listrik dengan jenis arus searah dihubungkan ke panel surya, maka pengaliran arus listrik

akan terjadi.

Modul sel surya adalah sekumpulan modul yang saling dihubungkan secara seri, paralel atau kombinasi keduanya untuk memperoleh suatu nilai tegangan, arus, dan daya tertentu. Untuk menentukan kapasitas daya modul surya diambil berdasarkan harga minimum insolasi matahari (Syukri and Kunci 2010).

Tujuan pembuatan modul surya ialah untuk memperoleh daya listrik dan tegangan listrik dengan nilai tertentu. Modul surya umumnya bekerja pada nilai tegangan listrik yaitu 12 Volt atau 24 Volt.



Gambar 2.6. Modul Sel Surya

Jumlah modul yang dihubungkan paralel ditentukan oleh nilai tegangan yang dibutuhkan, sedangkan untuk menentukan nilai arus dilakukan pemasangan seri.

$$J_s = \frac{V_{INV}}{V_{MF}} \quad (2.8)$$

Keterangan:

$J_s$  = jumlah seri modul PV

$V_{INV}$  = tegangan masukan *inverter* (Volt)

$V_{MF}$  = tegangan maksimum modul PV (Volt)

Sehingga tegangan modul sel surya ( $V_{GPV}$ ) adalah:

$$V_{GPV} = J_s V_{MF} \quad (2.9)$$

Untuk memperoleh daya total sebesar  $P_{GPV}$ , maka dibutuhkan jumlah string, sebagai berikut:

$$I_p = \frac{P'_{GPV}}{V_{GV} I_{MF}} \quad (2.10)$$

Keterangan:

$J_p$  = jumlah string modul PV

$P'_{GPV}$  = daya modul sel surya (Watt)

$V_{GPV}$  = tegangan modul sel surya (Volt)

$I_{MF}$  = arus maksimum modul PV (ampere)

### 2.2.2 Photovoltaic

*Photovoltaic* berasal dari bahasa Yunani, foto yang artinya cahaya dan voltaik yang artinya listrik. Dinamakan oleh fisikawan Italia yang bernama volta setelah satuan pengukuran volt yang ditetapkan. Istilah ini digunakan di negara Inggris sejak tahun 1849.

Efek fotovoltaiik pertama kali dikenali pada tahun 1839 oleh fisikawan Perancis Alexandre-Edmond Becquerel. Akan tetapi, sel surya yang pertama dibuat baru pada tahun 1883 oleh Charles Fritts (Gultom 2015).

Fotovoltaiik terdiri dari lapisan semikonduktor tipe-p yaitu bahan semikonduktor yang didalamnya terdapat hole sebagai pembawa muatan mayoritasnya dan lapisan semikonduktor tipe-n memiliki elektron sebagai pembawa muatan mayoritasnya. Keduanya didapat dari hasil pen-dopingan semikonduktor yang sama dengan bahan doping yang berbeda. Kedua lapisan ini merupakan lapisan pembentuk fotovoltaiik.

Dalam fotovoltaiik terdapat medan listrik. Medan listrik ini terdapat di daerah depletion layer. Tegangan yang dihasilkan oleh fotovoltaiik sangat bergantung terhadap besarnya medan listrik dan dengan fungsi muatan total yang ada di dalam fotovoltaiik sangat tergantung terhadap jarak antara batas bertemunya kedua lapisan dengan batas terjauh dari depletion layer.

Foton pada cahaya yang diserap fotovoltaiik menyebabkan elektron-elektron tereksitasi. Hasilnya terdapat fotogenerasi dari pembawa, muatan yang berada didalam lapisan semikonduktor tipe-p dan tipe-n fotovoltaiik. Arus yang dihasilkan

adalah arus direct current (DC), yang dihasilkan oleh fotovoltaiik adalah:

$$i = e \left( \exp \frac{e.v}{kT} - 1 \right) \left( \frac{n o D e t}{L e^2} + \frac{P o D h}{L_h} \right) - e.g \quad (2.6)$$

Keterangan:

$g$  = elektron dan hole/satuan luas

$v$  = tegangan p dan n

$k$  = konstanta Boltzmann

$T$  = temperatur fotovoltaiik

$L$  = panjang difusi elektron dan lubang

$D$  = konstanta difusi elektron dan lubang

Dengan  $g$  adalah banyaknya pasangan elektron dan holes per satuan luas dan  $V$  adalah nilai tegangan pada sambungan antara lapisan p dan n,  $e$  adalah muatan elementer pada fotovoltaiik.  $K$  adalah konstanta Boltzman.  $T$  adalah temperatur lapisan fotovoltaiik,  $L$  adalah panjangnya difusi dari elektron dan lubang,  $D$  adalah konstanta difusi elektron dan lubang,  $n$  dan  $p$  merupakan nilai konsentrasi permukaan sebagai pembawa muatan minoritas.

Tegangan yang dihasilkan oleh fotovoltaiik bergantung pada medan listrik pada daerah depletion layer, medan listrik ini terjadi akibat interaksi muatan-muatan yang berada di dalamnya, sehingga definisi dari tegangan yang dihasilkannya adalah:

$$V = \left( \frac{e}{2 \Sigma o \Sigma r} \right) (NDdn^2 + NAdp^2) \quad (2.7)$$

Keterangan:

$V$  = tegangan

$e$  = besar muatan

$ND$  dan  $NA$  = atom donor dan atom akseptor

$dp$  dan  $dn$  = lapisan tipe-n dan tipe-p

Yang dimaksud dengan efek fotovoltaiik adalah suatu fenomena dimana munculnya tegangan listrik karena adanya hubungan atau kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat mendapatkan energi cahaya. Oleh karena itu, Sel Surya atau *Solar Cell* sering disebut juga dengan sel fotovoltaiik (PV). Efek fotovoltaiik ini ditemukan oleh Henri Becquerel pada tahun 1839.

Arus listrik timbul karena adanya energi foton cahaya matahari yang diterimanya berhasil membebaskan elektron-elektron dalam sambungan semikonduktor tipe N dan tipe P untuk mengalir. Sama seperti Dioda Foto (Photodiode), Sel Surya atau *Solar Cell* ini juga memiliki kaki Positif dan kaki Negatif yang terhubung ke rangkaian atau perangkat yang memerlukan sumber listrik.

Pada dasarnya, Sel Surya merupakan Dioda Foto (*Photodiode*) yang memiliki permukaan yang sangat besar. Permukaan luas Sel Surya tersebut menjadikan perangkat Sel Surya ini lebih sensitif terhadap cahaya yang masuk dan menghasilkan Tegangan dan Arus yang lebih kuat dari Dioda Foto pada umumnya.

Contohnya, sebuah Sel Surya yang terbuat dari bahan semikonduktor silikon mampu menghasilkan tegangan setinggi 0,5V dan Arus setinggi 0,1A saat terkena (*expose*) cahaya matahari. Saat ini, telah banyak yang mengaplikasikan perangkat Sel Surya ini ke berbagai macam penggunaan. Mulai dari sumber listrik untuk kalkulator, mainan, pengisi baterai hingga ke pembangkit listrik dan bahkan sebagai sumber listrik untuk menggerakkan satelit yang mengorbit bumi kita.

Sel Surya atau *Solar Cell* adalah suatu perangkat atau komponen yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek fotovoltaik. Yang dimaksud dengan Efek Fotovoltaik adalah suatu fenomena dimana munculnya tegangan listrik karena adanya hubungan atau kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat mendapatkan energi cahaya. Oleh karena itu, Sel Surya atau *Solar Cell* sering disebut juga dengan Sel Fotovoltaik (PV) (Evalina, Pasaribu, and Ivana 2021).

### 2.2.3 Analisis Energi Solar

Fotovoltaik pada umumnya mempunyai hambatan parasitik seri dan hambatan shunt yang berpengaruh pada penurunan efisiensi (Sujono, Sulistyowati, and Rianto 2017).

Persamaan model dioda tunggal yang digunakan untuk menggambarkan arus operasional yang dihasilkan modul PV dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$I = I_L - I_o \left( \exp \left( \frac{V + IR_s}{N_S n_t V_t} \right) - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}}$$

$$= I_L - I_o \left( \exp \left( \frac{V+IR_s}{mV_t} \right) - 1 \right) - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (2.11)$$

Dengan  $I_L$  arus yang dibangkitkan cahaya (A),  $I_0$  arus jenuh balik pada sambungan diode p-n (A),  $R_s$  hambatan seri pada sel PV (ohm),  $R_{sh}$  hambatan *shunt* se PV (ohm),  $N_s$  jumlah sel yang tersusun seri,  $n_1$  aktor ideal diode, dan  $m=N_sN_1$  parameter tunggal dan  $V_t$  tegangan termal (V) yang dinyatakan sebagai berikut:

$$V_t = \frac{kT_c}{2!q} \quad (2.12)$$

Dengan  $T_c$  temperatur sel (K),  $k$  konstanta Boltzmann (JK-1) dan  $q$  muatan elektron (C), hambatan *shunt* atau hambatan paralel menunjukkan arus yang bocor pada sambungan p-n dioda.

#### 2.2.4 Daya Listrik

Satuan daya listrik dalam SI adalah Watt, yang didefinisikan sebagai berubahnya energi terhadap waktu dalam bentuk tegangan dan arus. Daya dalam watt diserap oleh suatu beban pada setiap saat sama dengan jatuh tegangan pada beban tersebut (volt) dikalikan dengan arus yang mengalir lewat beban (Ampere), atau Daya listrik terbagi menjadi tiga jenis, yaitu daya aktif, daya reaktif dan daya nyata (Sulistiyowati and Febriantoro 2015).

Misalkan suatu potential  $v$  dikenakan ke suatu beban dan mengalirlah arus. Energi yang diberikan ke masing-masing elektron yang menghasilkan arus listrik sebanding dengan  $v$  (beda potensial). Dengan demikian total energi yang diberikan ke sejumlah elektron yang menghasilkan total muatan sebesar  $dq$  adalah sebanding dengan  $v \times dq$ . Energi yang diberikan pada elektron tiap satuan waktu didefinisikan sebagai daya (power)  $P$  sebesar:

$$P = v \frac{dq}{dt} = vi \quad (2.1)$$

Daya didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam sirkuit listrik. Satuan internasional daya listrik adalah Watt yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir per satuan waktu (joule/detik) dan dirumuskan sebagai berikut:

$$P = V \cdot I$$

(2.2)

Keterangan:

P = Daya (watt atau W)

I = Arus (ampere atau A)

V = Tegangan (volt atau V)

Ada beberapa macam daya listrik sebagai berikut:

1. Daya aktif adalah daya rata-rata yang sesuai dengan kekuatan sebenarnya ditransmisikan atau dikonsumsi oleh beban (Von Meier Alexander, 2006). Beberapa contoh dari daya aktif adalah energi panas, energi mekanik, cahaya dan daya aktif memiliki satuan berupa watt (W).

$$P = V.I. \cos\varphi \quad (2.3)$$

Keterangan:

P = Daya (watt atau W)

I = Arus (ampere atau A)

V = Tegangan (volt atau V)

$\cos \varphi$  = Faktor daya

2. Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet (Von Meier Alexander, 2006). Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, lampu pijar dan lain – lain. Daya reaktif memiliki satuan berupa volt ampere reactive (VAR).

$$Q = V.I. \sin\varphi$$

(2.4)

Keterangan:

Q = Daya reaktif (VAR)

I = Arus (ampere atau A)

V = Tegangan (volt atau V)

$\sin \varphi$  = Faktor Reaktif

3. Daya Semu adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan dan arus dalam suatu jaringan (Von Meier Alexander, 2006) atau daya yang

merupakan hasil penjumlahan trigonometri daya aktif dan daya reaktif. Daya semu ialah daya yang dikeluarkan sumber *Alternation Current* (AC) atau diserap oleh beban. Satuan dari daya semu yaitu volt ampere (VA).

$$S = V \cdot I \quad (2.5)$$

Keterangan:

Q = Daya Semu (V)

I = Arus (ampere atau A)

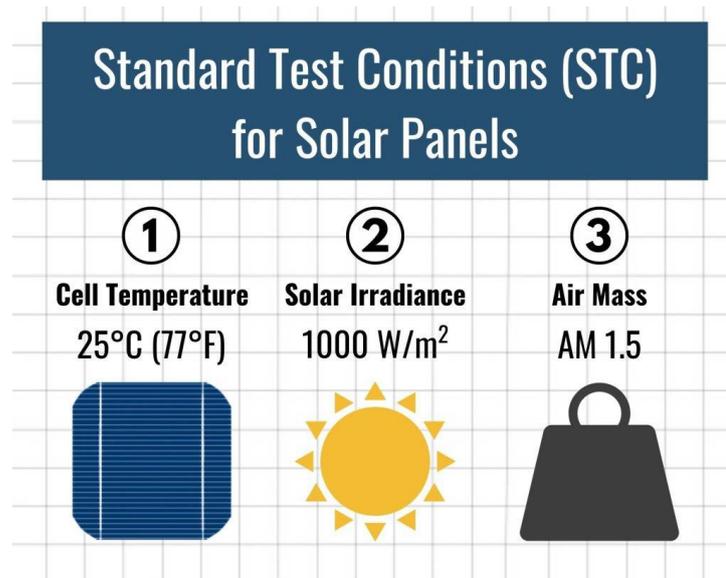
V = Tegangan(volt atau V)

### 2.2.5 *Standart Test Condition* (STC)

Kinerja output listrik dari silikon kristal dan modul panel surya umumnya diukur dalam kondisi uji standar (STC), memastikan perbandingan relatif dan evaluasi output dari modul panel surya yang berbeda.

STC adalah standar industri-lebar untuk menunjukkan kinerja modul panel dan menentukan suhu sel 25°C dan radiasi 1000 W/m<sup>2</sup> dengan massa udara 1,5 (AM1.5) spektrum. Ini sesuai dengan radiasi dan spektrum insiden sinar matahari pada hari yang cerah pada permukaan yang menghadap ke matahari 37° dengan matahari pada sudut 41,81° diatas cakrawala. Adapun parameter STC dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Kondisi ini kira-kira mewakili matahari siang dekat musim semi dan musim gugur ekuinoks di benua Amerika Serikat dengan permukaan sel yang ditujukan langsung pada matahari. Namun, kondisi ini jarang dijumpai di dunia nyata. Pengukuran kinerja berbasis STC diterapkan dalam tes flash dari banyak produsen.



Gambar 2.7. Standart Test Condition (STC)

### 2.2.6 Solar Charge Controller

*Solar Charge Controller* adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. *Solar charge controller* mengatur *overcharging* (kelebihan pengisian karena baterai sudah 'penuh') dan kelebihan voltase dari panel surya/*solar cell*. Kelebihan voltase dan pengisian akan mengurangi umur baterai.

#### 2.2.6.1 Jenis Solar Charge Controller

##### 1. Pulse width Modulation (PWM)

*Pulse width Modulation* (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban (tampak pada Gambar 2.11). Panel surya / *solar cell* 12 Volt umumnya memiliki tegangan output 16 - 21 Volt. Jadi tanpa *solar charge controller*, baterai akan rusak oleh *overcharging* dan ketidakstabilan tegangan. Baterai umumnya *di-charge* pada tegangan 14 - 14.7 Volt.



Gambar 2.8. Solar charge controller PWM

## 2. Solar charge controller MPPT (Maximum Power Point Tracking)

*Solar charge controller* MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) dapat dilihat pada Gambar 2.12 adalah alat yang berfungsi menelusuri kekuatan maksimum yang dapat dihasilkan panel surya dan mengontrol pengisian baterai. MPPT berfungsi untuk melacak keberadaan titik daya maksimum yang diproduksi panel surya. *Controller* MPPT bisa bekerja maksimal meski suhu sel surya di bawah 45°C atau di atas 75°C. MPPT menawarkan potensi peningkatan efisiensi pengisian daya hingga 30%. SCC ini juga menawarkan kemampuan potensial untuk memiliki array dengan tegangan input lebih tinggi daripada bank baterai



Gambar 2.9. Solar charge controller MPPT

BCR ini berguna untuk melakukan pengaturan arus listrik ke panel surya melalui baterai. Pada saat baterai tidak terisi penuh maka BCR akan melakukan *Charge* atau pengisian pada baterai, hal ini diharapkan tidak terjadi kerusakan pada baterai utama pada saat baterai tidak mendapatkan suplai energi dari matahari (Pohan et al. 2021). Beberapa fungsi detail dari solar charge controller adalah sebagai berikut:

1. Mengatur arus untuk pengisian ke baterai, menghindari *overcharging*, dan *overvoltage*.
2. Mengatur arus yang dibebaskan/ diambil dari baterai agar baterai tidak '*full discharge*', dan *overloading*.
3. Monitoring temperatur baterai.

Untuk membeli solar charge controller yang harus diperhatikan adalah:

1. Voltage 12 Volt DC / 24 Volt DC
2. Kemampuan (dalam arus searah) dari *controller*. Misalnya 5 Ampere, 10 Ampere, dsb.
3. *Full charge* dan *low voltage cut*.

Seperti yang telah disebutkan di atas *solar charge controller* yang baik biasanya mempunyai kemampuan mendeteksi kapasitas baterai. Bila baterai sudah penuh terisi maka secara otomatis pengisian arus dari panel surya/solar cell berhenti. Cara deteksi adalah melalui monitor level tegangan baterai. Solar charge controller akan mengisi baterai sampai level tegangan tertentu, kemudian apabila level tegangan drop, maka baterai akan diisi kembali.

*Solar Charge Controller* biasanya terdiri dari 1 input yang terhubung dengan output panel surya/solar cell, 1 output yang terhubung dengan baterai dan 1 output yang terhubung dengan beban (*load*). Arus listrik DC yang berasal dari baterai tidak mungkin masuk ke panel sel surya karena biasanya ada '*diode protection*' yang hanya melewatkan arus listrik DC dari panel surya ke baterai, bukan sebaliknya.

*Charge Controller* bahkan ada yang mempunyai lebih dari 1 sumber daya, yaitu bukan hanya berasal dari matahari, tapi juga bisa berasal dari tenaga angin ataupun mikro hidro. Di pasaran sudah banyak ditemui *charge controller* 'tandem' yaitu mempunyai 2 input yang berasal dari matahari dan angin. Untuk ini

energi yang dihasilkan menjadi berlipat ganda karena angin bisa bertiup kapan saja, sehingga keterbatasan waktu yang tidak bisa disuplai energi matahari secara full, dapat disupport oleh tenaga angin. Bila kecepatan rata-rata angin terpenuhi maka daya listrik per bulannya bisa jauh lebih besar dari energi matahari.

### **2.2.6.2 Cara Kerja Charge Controller**

*Charge controller* adalah komponen penting dalam pembangkit listrik tenaga surya. *Charge controller* berfungsi untuk:

1. *Charging mode*: Mengisi baterai (kapan baterai diisi, menjadi pengisian kalau baterai penuh), dalam *charging mode*, umumnya baterai diisi dengan metode *three stage charging*:
  - a. *Fase bulk*: baterai akan *di-charge* sesuai dengan teganan setup (*bulk* - antara 14.4 - 14.6 Volt) dan arus diambil secara maksimum dari panel surya. Pada saat baterai sudah pada tegangan setup (*bulk*) dimulailah *fase absorption*.
  - b. *Fase absorption*: pada fase ini, tegangan baterai akan dijaga sesuai dengan tegangan bulk, sampai *solar charge controller timer* (umumnya satu jam) tercapai, arus yang dialirkan menurun sampai tercapai kapasitas dari baterai.
  - c. *Fase float*: baterai akan dijaga pada tegangan float setting (umumnya 13.4 – 13.7 Volt). Beban yang terhubung ke baterai dapat menggunakan arus maksimum dari panel surya pada stage ini.
2. *Operation mode*: Penggunaan baterai ke beban (pelayanan baterai ke beban diputuskan kalau baterai sudah mulai kosong “kosong”). Pada metode ini, baterai akan melayani beban. Apabila ada *over discharge* ataupun *overload*, maka baterai akan dilepaskan dari beban. Kedua komponen hal ini berguna untuk mencegah kerusakan dari sebuah baterai.

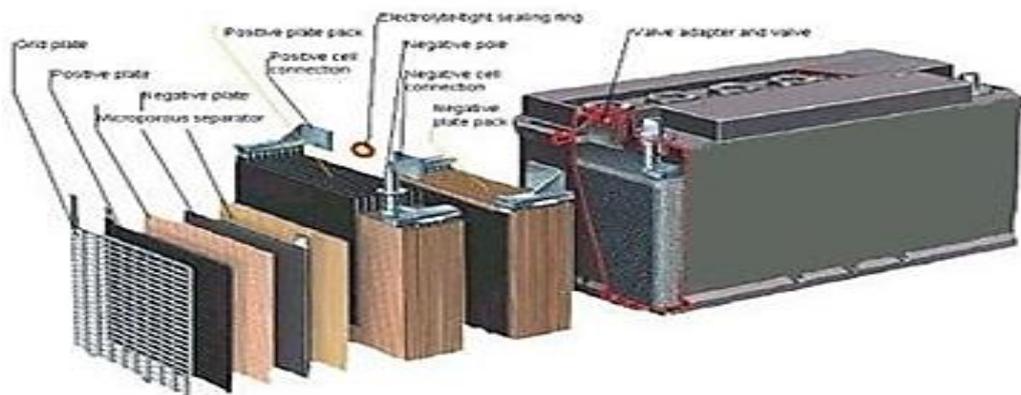
### **2.2.7 Baterai**

Baterai merupakan sebuah peralatan yang dapat mengubah energi Baterai listrik adalah alat yang terdiri dari 2 atau lebih sel elektrokimia yang mengubah

energi kimia yang tersimpan menjadi energi listrik. Tiap sel memiliki kutub positif (katoda) dan kutub negatif (anoda). Kutub yang bertanda positif menandakan bahwa memiliki energi potensial yang lebih tinggi daripada kutub bertanda negatif. Kutub bertanda negatif adalah sumber elektron yang ketika disambungkan dengan rangkaian eksternal akan mengalir dan memberikan energi ke peralatan eksternal. Ketika baterai dihubungkan dengan rangkaian eksternal, elektrolit dapat berpindah sebagai ion di dalamnya, sehingga terjadi reaksi kimia pada kedua kutubnya. Perpindahan ion dalam baterai akan mengalirkan arus listrik keluar dari baterai sehingga menghasilkan kerja. Meski sebutan baterai secara teknis adalah alat dengan beberapa sel, sel tunggal juga umumnya disebut baterai.

Baterai untuk *solar cell* sendiri mempunyai dua tujuan penting dalam sistem fotovoltaik; pertama adalah untuk memberikan daya listrik kepada sistem ketika daya tidak disediakan oleh *array* panel-panel surya, kedua adalah untuk menyimpan kelebihan daya yang ditimbulkan oleh panel-panel setiap kali daya itu melebihi beban.

Adapun cara untuk menghitung berapa banyak aki yang dibutuhkan PLTS dengan cara.  $\text{Kebutuhan Aki} = \text{Konsumsi Daya} : \text{Voltase aki} \times \text{Daya Tampung Baterai}$ . Setelah itu didapatkan banyak baterai yang dibutuhkan.



Gambar 2.10. Baterai untuk Sel Surya

Baterai merupakan alat menyimpan energi listrik melalui proses elektrokimia. Proses elektrokimia adalah di dalam baterai terjadi perubahan kimia menjadi listrik (proses pengosongan) dan listrik menjadi kimia dengan cara regenerasi dari elektroda-elektroda pada baterai yaitu dengan melewati arus

listrik dalam arah polaritas yang berlawanan pada sel (Julisman, Sara, and Siregar 2017).

Proses pengisian baterai atau proses pengubahan energi listrik menjadi energi kimia. Jika baterai dihubungkan dengan beban maka, elektronnya akan mengalir ke elektroda positif ( $\text{PbO}_2$ ) dengan melalui beban dari elektroda negatif (Pb), kemudian ion-ion negatifnya akan mengalir ke elektroda positif serta ion-ion positifnya akan mengalir ke elektroda negatif. Arus listrik juga dapat mengalir disebabkan adanya elektron yang kemudian bergerak ke serta atau dari elektroda sel dengan melalui reaksi ion antara molekul elektroda dengan molekul elektrolit sehingga memberikan jalan bagi elektron untuk mengalir.

Proses pengosongan atau proses pengubahan energi kimia menjadi energi listrik. Proses ini merupakan proses kebalikan dari proses pengosongan dimana arus listrik dialirkan yang arahnya berlawanan dengan arus yang terjadi pada saat pengosongan. Pada proses ini, kemudian setiap molekul air akan terurai. Ion oksigen yang bebas bersatu dengan tiap atom Pb pada plat positif ini kemudian akan membentuk timah peroksida ( $\text{PbO}_2$ ). Sementara setiap pasang ion hidrogen ( $2\text{H}^+$ ) yang dekat plat negatif bersatu dengan ion negatif Sulfat ( $\text{SO}_4^-$ ) pada plat negatif untuk kemudian membentuk asam sulfat.

### **2.2.7.1 Jenis-Jenis Baterai**

#### **1. Baterai Primer (Baterai Sekali Pakai)**

Baterai Primer atau baterai sekali pakai adalah baterai yang paling sering ditemukan di pasaran, hampir semua toko serta supermarket menjualnya. Hal ini dikarenakan penggunaannya yang luas dengan harga yang sangat terjangkau. Beberapa contoh baterai primer dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.11. Baterai Primer

### 1. Baterai *Zinc-Carbon* (Seng-Karbon)

Baterai *Zinc-Carbon* juga sering disebut sebagai baterai “*Heavy Duty*” yang sering kita jumpai di toko-toko ataupun supermarket. Baterai jenis ini kemudian terdiri dari bahan *Zinc* yang berfungsi sebagai Terminal Negatif serta sebagai pembungkus baterainya. Sementara itu, Terminal Positifnya berasal dari Karbon yang berbentuk Batang (rod). Baterai jenis *Zinc-Carbon* juga merupakan jenis baterai yang relatif murah jika dibandingkan dengan jenis lainnya.

### 2. Baterai *Alkaline* (Alkali)

Baterai *Alkaline* ini kemudian memiliki daya tahan yang lebih lama dengan harga yang lebih mahal jika dibandingkan dengan Baterai *Zinc-Carbon*. Elektrolit yang digunakannya ialah *Potassium Hydroxide* yang kemudian merupakan Zat Alkali (*Alkaline*), sehingga namanya juga disebut dengan baterai *Alkaline*.

### 3. Baterai *Lithium*

Baterai *Lithium* bisa jenis baterai yang memiliki kinerja yang lebih baik jika dibandingkan dengan jenis-jenis Baterai Primer (sekali pakai) lainnya. Baterai *Lithium* juga dapat disimpan lebih dari 10 tahun serta dapat bekerja pada suhu yang sangat rendah. Karena keunggulannya ini, baterai jenis *Lithium* kemudian sering digunakan untuk aplikasi *memory backup* pada Mikrokomputer juga jam tangan. Baterai *Lithium* kemudian bisa dibuat seperti bentuk uang logam ataupun

disebut juga dengan Baterai Koin (*Coin Battery*). Selain itu, ada juga yang kemudian memanggilnya *Button Cell* ataupun Baterai Kancing.

#### 4. Baterai Silver Oxide

Baterai *Silver Oxide* adalah jenis baterai yang tergolong mahal dalam hal harganya. Hal ini sendiri dikarenakan tingginya harga Perak (Silver). Baterai *Silver Oxide* kemudian dapat dibuat untuk menghasilkan Energi yang tinggi namun dengan bentuk yang relatif kecil dan ringan.

Baterai jenis *Silver Oxide* ini juga sering dibuat dalam bentuk Baterai Koin (*Coin Battery*) atau Baterai Kancing (*Button Cell*). Baterai jenis *Silver Oxide* ini juga sering dipergunakan pada jam tangan, kalkulator, dan aplikasi militer.

## **2. Baterai Sekunder (Baterai Isi Ulang/*Rechargeable*)**

Baterai Sekunder merupakan jenis baterai yang dapat diisi ulang ataupun *Rechargeable Battery*. Pada prinsipnya, cara baterai sekunder dalam menghasilkan arus listrik adalah sama dengan Baterai Primer. Hanya saja, Reaksi Kimia pada Baterai Sekunder ini juga dapat berbalik (*Reversible*).

Pada saat baterai ini digunakan dengan menghubungkan beban pada terminal baterai (*discharge*), elektron ini kemudian akan mengalir dari negatif ke positif. Sementara pada saat sumber energi luar (*charger*) ini kemudian dihubungkan ke baterai sekunder, elektron ini akan mengalir dari positif ke negatif, sehingga terjadi pengisian muatan pada baterai. Beberapa contoh baterai primer dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.12. Baterai Sekunder

Jenis-jenis baterai yang dapat di isi ulang (*rechargeable battery*) ini sering kita temukan antara lain seperti pada baterai Ni-cd (*Nickel-Cadmium*), Ni-MH (*Nickel-Metal Hydride*) serta Li-Ion (*Lithium-Ion*). Adapun jenis-jenis baterai yang tergolong ke dalam kategori baterai sekunder (baterai isi ulang), antara lain sebagai berikut.

#### 1. Baterai Ni-Cd (*Nickel-Cadmium*)

Baterai Baterai Ni-Cd (*Nickel-Cadmium*) merupakan jenis baterai sekunder (isi ulang) yang menggunakan *Nickel Oxide Hydroxide* serta *Metallic Cadmium* adalah bahan elektrolitnya. Baterai Ni-Cd ini memiliki kemampuan beroperasi dalam jangkauan suhu yang luas serta siklus daya tahan yang lama. Di satu sisi, baterai Ni-Cd kemudian akan melakukan discharge sendiri (*self discharge*) sekitar 30% per bulan saat tak lagi digunakan. Baterai Ni-Cd juga mengandung 15% Toksik/racun yaitu bahan *Carcinogenic Cadmium* yang kemudian dapat membahayakan kesehatan manusia serta lingkungan hidup. Saat ini penggunaan serta penjualan baterai Ni-Cd (*Nickel-Cadmium*) dalam perangkat portabel konsumen ini telah dilarang oleh EU (*European Union*) berdasarkan pada peraturan “*Directive 2006/66/EC*” atau dikenal dengan “*Battery Directive*”.

#### 2. Baterai Ni-MH (*Nickel-Metal Hydride*)

Baterai Ni-MH (*Nickel-Metal Hydride*) ini memiliki keunggulan yang hampir sama dengan Ni-Cd, tetapi baterai Ni-MH memiliki kapasitas 30%

lebih tinggi jika dibandingkan dengan baterai Ni-Cd serta tak memiliki zat berbahaya Cadmium yang akan merusak lingkungan serta kesehatan manusia. Baterai Ni-MH juga dapat diisi ulang hingga ratusan kali sehingga dapat menghemat biaya dalam pembelian baterai.

Baterai Ni-MH juga memiliki *Self-discharge* sekitar 40% setiap bulannya jika tidak digunakan. Saat ini, baterai Ni-MH juga banyak digunakan dalam Kamera dan radio komunikasi. Meski tidak memiliki zat berbahaya Cadmium, tetapi baterai Ni-MH juga tetap mengandung sedikit zat berbahaya yang dapat merusak kesehatan manusia serta lingkungan hidup, sehingga perlu dilakukan daur ulang (*recycle*) dan tak boleh dibuang di sembarang tempat.

### 3. Baterai Li-ion

Baterai Li-ion (LIB) adalah salah satu anggota keluarga baterai isi ulang (*rechargeable battery*). Di dalam baterai ini ion *lithium* bergerak dari elektrode negatif ke elektrode positif saat baterai sedang digunakan, dan kembali saat diisi ulang. Baterai Li-ion memakai senyawa litium interkalasi sebagai bahan elektrodanya, berbeda dengan litium metalik yang dipakai di baterai *lithium* non-isi ulang.

#### 2.7.1.2 *State of Charge (SOC)*

SOC didefinisikan sebagai rasio total kapasitas energi yang dapat digunakan dari sebuah baterai dengan kapasitas baterai seluruhnya. SOC menggambarkan energi yang tersedia dan dituliskan dalam persentase sesuai beberapa referensi, terkadang dianggap sebagai nilai kapasitas dari baterai. Cara mengukur SOC dari baterai dapat dilakukan dengan 3 cara yaitu:

1. Pengukuran secara langsung, dapat dilakukan jika baterai dapat *di-discharge* pada nilai yang konstan dan pengukuran.
2. Pengukuran *Specific Gravity* (SG), cara ini bergantung pada perubahan pengukuran dari berat bahan kimia aktif.
3. Perkiraan SOC berdasarkan tegangan, dengan mengukur tegangan sel baterai sebagai dasar untuk perhitungan SOC atau sisa kapasitas. Hasil dapat berubah

tergantung pada level tegangan nyata, suhu, nilai discharge, dan umur sel.

### 2.7.1.3 Baterai *Valve Regulated Lead Acid (VRLA)*

Baterai ini tidak memiliki caps/katup, tidak ada akses ke elektrolit dan total sealed. Dengan demikian baterai jenis ini tidak memerlukan *maintenance*. Baterai *Deep Cycle* adalah baterai yang cocok untuk sistem *solar cell*, karena dapat *discharge* sejumlah arus listrik secara konstan dalam waktu yang lama. Umumnya baterai *deep cycle* dapat *discharge* sampai dengan 80% kapasitas baterai. Dengan perencanaan kapasitas dan *maintenance* yang baik, baterai jenis ini dapat bertahan selama kurang lebih 10 tahun.

Untuk mengetahui waktu dalam proses dalam proses pengisian baterai, dapat menggunakan rumus berikut:

Lama pengisian arus:

$$T_a = \frac{Ah}{A} \quad (2.10)$$

Keterangan:

$T_a$  = Lamanya pengisian arus (jam)

$Ah$  = Besarnya kapasitas baterai (ampere hours)

$A$  = Besarnya arus pengisian ke baterai (ampere)

Lamanya pengisian daya:

$$T_d = \frac{\text{Daya Ah}}{\text{Daya A}} \quad (2.11)$$

Keterangan:

$T_d$  = Lamanya pengisian daya (jam)

$\text{Daya Ah}$  = Besar daya Ah x tegangan baterai (Watt hours)

$\text{Daya A}$  = Besar daya A x besar tegangan baterai (Watt)

### 2.2.8 Power Inverter

*Power inverter* atau *inverter* merupakan konverter daya listrik yang mengubah arus searah (DC) menjadi *alternating current* (AC). AC dapat dikonversi pada setiap tegangan yang diperlukan dan frekuensi dengan

penggunaan transformator, *switching*, dan kontrol sirkuit yang tepat. *Inverter* tidak memproduksi daya listrik sendiri, melainkan daya disediakan dari sumber arus searah (DC) yang merupakan input dari power *inverter* tersebut, dapat berupa baterai atau aki maupun dari sel surya (*solar cell*).

*Power inverter* ini akan sangat bermanfaat, apabila digunakan sebagai listrik cadangan, maupun sebagai listrik pada wilayah daerah yang masih memiliki keterbatasan listrik AC. Karena dengan adanya *power inverter* ini, kita dapat menggunakan aki ataupun sel surya, untuk menghidupkan peralatan pada keperluan rumah tangga, seperti televisi, kipas angin, lampu, radio, kulkas, mesin cuci yang pada umumnya, masih selalu memerlukan sumber dari listrik AC, yang bertegangan 110 Volt AC ataupun 220 Volt AC.

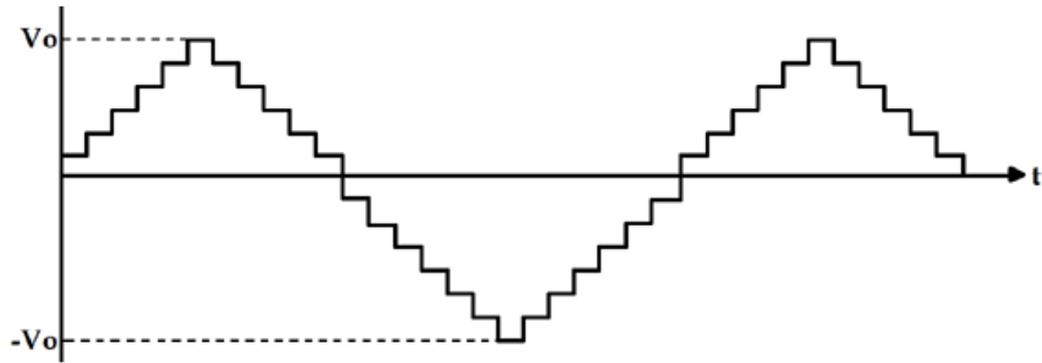
Bentuk gelombang yang dapat dihasilkan oleh power *inverter* ada beberapa jenis gelombang persegi (*square wave*), gelombang sinus (*sine wave*), gelombang sinus yang dimodifikasi (*modified sine wave*), dan gelombang modulasi pulsa lebar (*pulse width modulated wave*). tergantung dari desain rangkaian power inverter tersebut. Namun pada saat ini, *Power Inverter* dengan bentuk gelombang yang paling banyak digunakan, berbentuk gelombang sinus (*sine wave*) dan gelombang sinus yang dimodifikasi (*modified sine wave*).

#### **2.2.8.1 Jenis Gelombang *Inverter***

Berdasarkan gelombang keluaran yang dihasilkan inverter didapat 3 jenis gelombang yaitu modified sine wave, square wave dan pure sine wave.

#### **2.2.8.1 Inverter Modified Sine Wave**

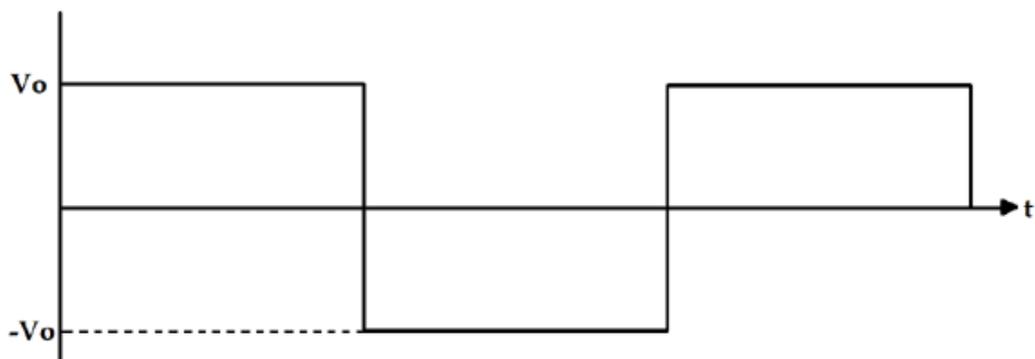
*Inverter Modified Sine Wave* (seperti tampak pada Gambar 2.21) *Modified Sine Wave* adalah jenis *power inverter* gelombang hasil dari modifikasi dari gelombang kotak (*square Sine wave*). Berbeda dengan jenis inverter sebelumnya, inverter ini memang bisa dipakai untuk beban coil dan kekurangan dari jenis *power inverter* ini kurang maksimal. Selain itu dari jenis gelombang yang dihasilkan pada inverter modifikasi, cenderung menyebabkan pemborosan daya pada skala yang lebih tinggi. Serta tidak diperkenankan pada penggunaan peralatan elektronika seperti pada, audio power amplifier.



Gambar 2.13. *Inverter Modified Sine Wave*

### 2.2.8.2 Inverter Square Wave

*Inverter Square Wave* (seperti tampak pada Gambar 2.22) Gelombang *Square Sine Wave* adalah jenis *power inverter*, gelombang sinyal yang berbentuk kotak. Sesuai namanya sinyal kotak ini, tidak cocok digunakan untuk beban coil, serta tidak cocok untuk beban, trafo jenis tertentu. Inverter jenis ini juga disebut sebagai, *power inverter* jenis *push-pull*, dimana pada penggunaan untuk peralatan elektronika, seperti kulkas, *power supply*, tv, radio, kipas angin, cas *handphone* tidak diperkenankan karena bisa merusak peralatan elektronika tersebut. Dan pada jenis *power inverter*, jenis gelombang kotak. Pada *power inverter* ini hanya, diperkenankan untuk penggunaan pada peralatan elektronika jenis lampu.

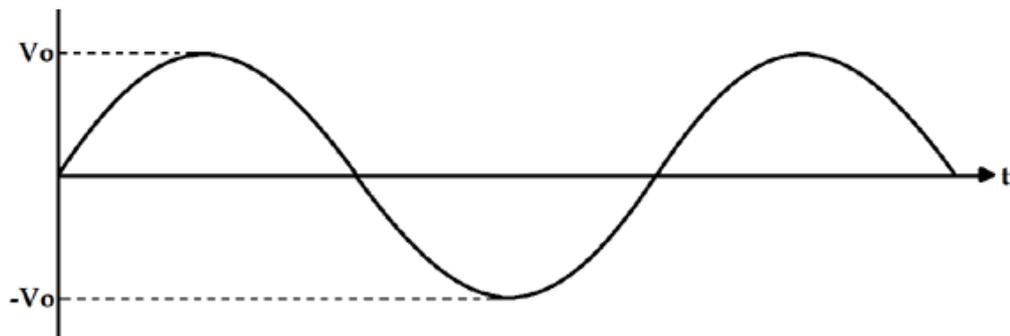


Gambar 2.14. *Inverter Square Wave*

### 2.2.8.3 Inverter Pure Sine Wave

*Pure Sine Wave* Inverter adalah jenis *power inverter* yang terbaik dari jenis, yang lainnya pada *power inverter*. Karena dari jenis gelombang *pure Sine wave* ini. Bekerja maksimal pada semua peralatan elektronika, dimana dari gelombang

pada power inverter ini gelombangnya murni, seperti yang dihasilkan oleh listrik PLN. Keunggulan jenis power inverter pure Sine wave ini, lebih efisiensi, dari daya yang dihasilkan. Serta lebih tinggi, karena daya yang dikonsumsi lebih sedikit. Namun dari semua kelebihan, dari power inverter *Pure Sine wave*, yang ditawarkan di pasaran, harganya yang masih relatif lebih mahal, dibanding, dari produk jenis power inverter yang lainnya, yang ada di pasaran.



Gambar 2.15. *Inverter Pure Sine Wave*

### 2.2.8.2 Jenis Inverter

Ada beberapa jenis inverter yang dijual dipasaran yaitu solar inveter, inveter stand alone, portable/inveter mobil, dan inveter multilevel.

#### 1. Solar Inverter

*Solar Inverter* adalah jenis *inverter* yang memiliki cara kerja untuk merubah arus jenis DC yang asalnya dari solar (aki) menjadi arus AC. Untuk menunjang kinerjanya, *inverter* jenis solar juga umumnya dilengkapi dengan adanya komponen penyusun. Salah satunya yakni komponen baterai yang difungsikan sebagai penambah daya dalam perangkat tersebut. *inverter* dapat dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan teknologi yang digunakan, yaitu String Inverters, Power Optimizers, dan Microinverters.

String inverters adalah solar power inverter yang umum digunakan dalam sebuah sistem listrik tenaga surya atau PLTS atap. Setiap panel surya terhubung bersama melalui satu string atau multiple string dan dikoneksikan pada satu inverter (central inverter atau inverter terpusat), dimana inverter ini biasa diletakkan di dalam rumah. Fungsi solar power inverter ini akan mengubah energi

listrik DC dari semua panel surya menjadi energi listrik AC untuk memenuhi kebutuhan listrik di dalam rumah.

Power Optimizers adalah komponen yang berfungsi untuk mengatur atau menstabilkan voltase arus listrik DC yang dihasilkan dari masing-masing panel surya kemudian mengirimkan ke string inverter. Dengan adanya power optimizer ini menjadikan arus listrik DC yang masuk ke string inverter lebih efisien dan stabil, karena tidak terpengaruh jika ada salah satu panel surya yang tidak bekerja secara maksimal karena cuaca mendung.

Microinverters juga biasa disebut distributed inverters, karena microinverter ini terpasang di setiap panel surya dan langsung mengubah arus DC dari masing-masing panel surya menjadi arus AC yang siap dipergunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik di dalam rumah. Berbeda dengan string inverter yang menerima arus DC dari setiap panel surya yang terpasang dan mengubah menjadi arus AC.



Gambar 2.16. Solar Inverter

## 2. Inverter Stand Alone

*Inverter Stand Alone* adalah inverter yang mengubah listrik DC menjadi listrik AC secara independen tanpa terhubung jaringan PLN. Jenis inverter ini biasanya digunakan untuk keperluan di rumah, khususnya di daerah terpencil yang tidak memiliki jaringan PLN. Inverter ini biasanya tidak memiliki fitur canggih untuk meningkatkan efektivitas kinerja.

Inverter standalone digunakan dalam sistem PLTS *off-grid* yang terisolasi, dimana inverter menarik energi DC-nya dari baterai yang diisi oleh panel photovoltaik. Berikut ini cara kerja inverter standalone.

1. Panel surya menghasilkan listrik dan dialirkan ke solar charger controller (SCC)
2. Arus dari SCC lalu dikirim ke baterai untuk disimpan
3. Baterai mengalirkan arus listrik ke inverter standalone
4. Inverter standalone mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC)
5. Arus listrik AC kemudian dialirkan ke perangkat elektronik

Jika inverter mau digunakan untuk menjalankan mesin seperti pada mesin cuci dan alat-alat listrik berdaya besar maka harus dirancang untuk lonjakan daya. Inverter harus mampu untuk mengimkan daya besar dalam waktu yang singkat saat mesin dinyalakan.



Gambar 2.17 *Inverter Stand Alone*

### 3. Portable / Inverter Mobil

*Inverter Mobil* adalah jenis yang menggunakan aki mobil sebagai sumber arusnya. Dengan memakai jenis *inverter* ini, pengguna yang sedang berkendara tetap dapat mengisi baterai alat komunikasi mereka. Salah satu contohnya yakni seperti kebutuhan charger ulang handphone maupun perangkat lainnya. Namun, ada maksimal penggunaan daya yang dapat digunakan. Yakni apabila melebihi kapasitas maka risikonya yakni aki mobil akan mengalami kerusakan. *Inverter mobil* dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.178. *Inverter mobil*

### 4. Inverter Multilevel

*Inverter Multilevel* adalah konverter dc-ac dimana bentuk keluaran tegangan lebih dari dua tingkat (tiga tingkat, lima tingkat, tujuh tingkat dan seterusnya). Banyaknya tingkat keluaran sebuah inverter multilevel diatur dengan rangkaian kendali (switch) dan rangkaian switching, semakin banyak tingkat tegangan maka keluaran akan mendekati gelombang sinusoidal, dan kualitas daya yang dihasilkan lebih baik. Inverter multilevel yang berkembang saat ini dapat dikenali berdasarkan arsitekturnya (topologi), seperti topologi *Diode Clamped*, *Flying Capacitor* dan *H-Bridge*. Topologi inverter multilevel yang paling sederhana saat ini adalah inverter tiga tingkat, dimana tingkat tegangan yang dihasilkan yaitu

tegangan positif, nol dan tegangan negatif yang dihasilkan dengan menggunakan empat saklar daya. Namun demikian, sejumlah penelitian terus dilakukan untuk pengembangan dan untuk menghasilkan bentuk tegangan tiga tingkat dengan mereduksi komponen saklar daya yang digunakan. Bentuk dasar keluaran inverter multilevel tiga tingkat tegangan adalah diperoleh dengan memodifikasi gelombang persegi untuk menyerupai gelombang sinus, dengan cara mengubah level tegangan secara berkelanjutan dari nol, kemudian naik atau turun dengan peningkatan atau penurunan tingkat tegangan yang tertentu. (Purwarupa et al. 2021)



Gambar 2.19. *Inverter Multilevel*

### **2.2.8.3 *Interruption Power Supply (UPS)***

*Inverters UPS* adalah jenis inverter yang terdiri dari dua buah komponen yaitu *rectifier* dan *inverter*. Komponen ini memiliki fungsi yang berbeda, jika *inverter* berfungsi untuk merubah arus listrik DC ke AC maka *rectifier* berfungsi untuk merubah arus AC ke DC. Dengan kata lain, *rectifier* digunakan sebagai pengisi arus listrik dan *inverter* berfungsi untuk meneruskan arus listrik ke jaringan PLN. *Interruption Power Supply (UPS)* dapat dilihat pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20. *Interruption Power Supply (UPS)*

#### **2.2.8.4 Variable Speed Drive (VSD)**

VSD (*Variable Speed Drive*) merupakan jenis inverter listrik yang mirip dengan UPS yakni terdiri dari gabungan dua komponen *rectifier* dan *inverter*. Hanya saja VSD tidak dilengkapi dengan baterai seperti UPS. Cara kerja VSD yakni menyesuaikan frekuensi dari arus DC, kemudian dikonversikan menjadi arus AC yang nantinya bisa digunakan untuk berbagai macam perangkat elektronik yang mempunyai jenis induksi seperti motor listrik. *Variable Speed Drive (VSD)* dapat dilihat pada Gambar 2.21.



Gambar 2.21. *Variable Speed Drive (VSD)*

### 2.2.9 Perencanaan Secara Ekonomis

Perencanaan secara ekonomis untuk PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) melibatkan beberapa faktor penting yang perlu dipertimbangkan. Berikut adalah beberapa langkah yang dapat membantu dalam perencanaan secara ekonomis PLTS:

1. **Analisis Kebutuhan Energi:** Tentukan kebutuhan energi listrik yang akan dipasok oleh PLTS. Analisis ini meliputi estimasi konsumsi listrik, beban puncak, dan pola penggunaan energi listrik untuk mengidentifikasi ukuran sistem PLTS yang tepat.
2. **Penentuan Lokasi:** Pilih lokasi yang tepat untuk PLTS. Faktor-faktor seperti sinar matahari yang tersedia, orientasi panel surya, dan kondisi lingkungan harus dipertimbangkan. Lokasi dengan sinar matahari yang cukup dan minim bayangan akan mengoptimalkan kinerja PLTS.
3. **Evaluasi Kelayakan Finansial:** Lakukan evaluasi kelayakan finansial untuk menentukan apakah investasi dalam PLTS akan menguntungkan secara ekonomis. Hitung biaya investasi awal, biaya operasional dan pemeliharaan, dan manfaat dari penghematan biaya listrik atau potensi pendapatan dari penjualan surplus listrik ke jaringan.
4. **Perhitungan Pengembalian Investasi:** Hitung pengembalian investasi (Return on Investment/ROI) dari proyek PLTS. Perhatikan biaya investasi awal, penghematan biaya listrik, tarif listrik yang berlaku, biaya operasional, pemeliharaan, dan umur operasional sistem PLTS. Dalam banyak kasus, PLTS bisa memberikan pengembalian investasi dalam jangka waktu tertentu.
5. **Subsidi atau Insentif:** Cari tahu tentang kemungkinan subsidi atau insentif pemerintah yang tersedia untuk instalasi PLTS. Beberapa negara atau daerah memberikan insentif pajak, kredit pajak, atau feed-in tariff untuk mendorong penggunaan energi terbarukan.
6. **Kontrak Pemasok:** Lakukan penelitian dan konsultasi dengan beberapa pemasok PLTS untuk membandingkan penawaran dan menentukan pemasok yang paling sesuai dengan kebutuhan Anda. Pertimbangkan kualitas peralatan, jaminan, dukungan teknis, dan biaya dalam memilih pemasok.
7. **Operasi dan Pemeliharaan:** Perhatikan biaya operasional dan pemeliharaan jangka panjang dari sistem PLTS. Pastikan Anda memiliki rencana pemeliharaan yang efektif untuk memastikan kinerja sistem yang optimal dan masa pakai yang panjang.

Dengan melakukan perencanaan yang cermat dan analisis yang komprehensif, Anda dapat mengoptimalkan manfaat ekonomis dari sistem PLTS dan membuat keputusan yang bijak dalam menginvestasikan sumber daya anda.

## **BAB 3**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

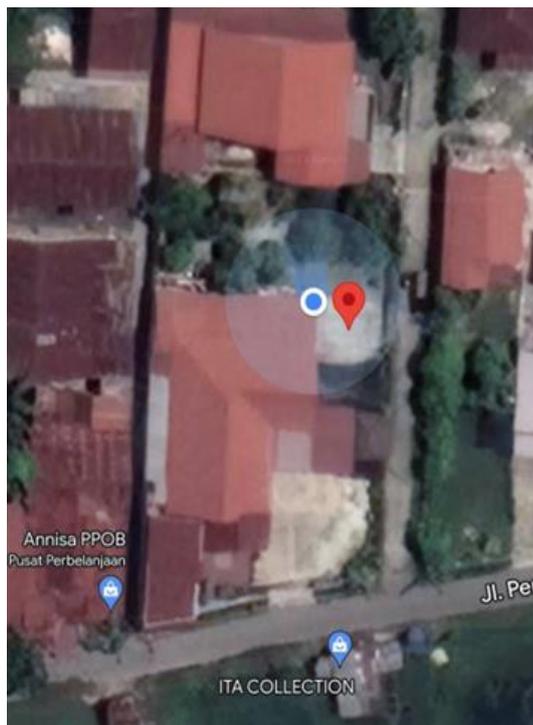
#### **3.1 Waktu dan Tempat Perancangan**

##### **3.1.1 Waktu Perancangan**

Waktu pelaksanaan perancangan ini dilakukan dalam waktu 10 hari dari tanggal 1 Februari 2023 sampai 10 Februari 2023. Dimulai dengan persetujuan proposal ini sampai selesai perancangan.

##### **3.1.2 Tempat Perancangan**

Penelitian Tugas Akhir ini dilakukan di Jalan Perunggu No. 70 LK. V Kelurahan Kota Bangun, Kecamatan Medan Deli, Kota Medan, Sumatera Utara, 20243. Adapun denah lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



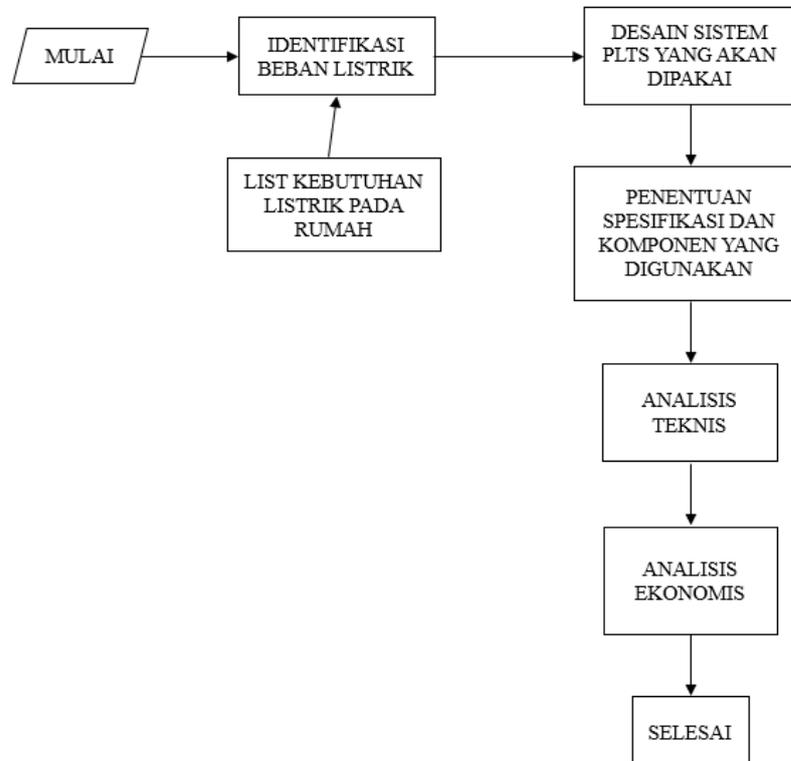
Gambar 3.1. Tempat Perancangan

##### **3.1.3 Bahan dan Alat**

Adapun bahan dan alat yang digunakan penulis dalam penelitian Tugas Akhir ini yaitu:

1. Panel Surya Monokristalin (*Monocrystalline*)
2. *Battery* Lifepo4 48V 100Ah
3. *Wholesale* 5kVA 4kw 48V 220V *off Grid Solar Inverter*
4. Kabel Listrik
5. Besi Hollow
6. Baja Ringan
7. Baut Skrup Roofing
8. Kabel Ties
9. Paku Clamp Kabel
10. Tang Potong
11. Bor Portable
12. Gerinda Potong
13. Meteran

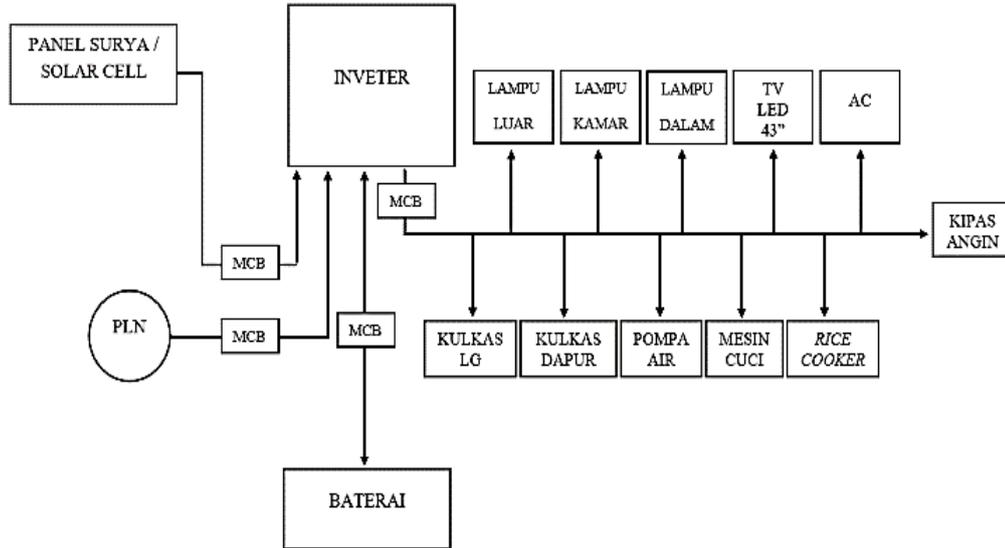
### 3.2 Diagram Alir



Gambar 3.2. Diagram alir penelitian

### 3.3 Blok Diagram

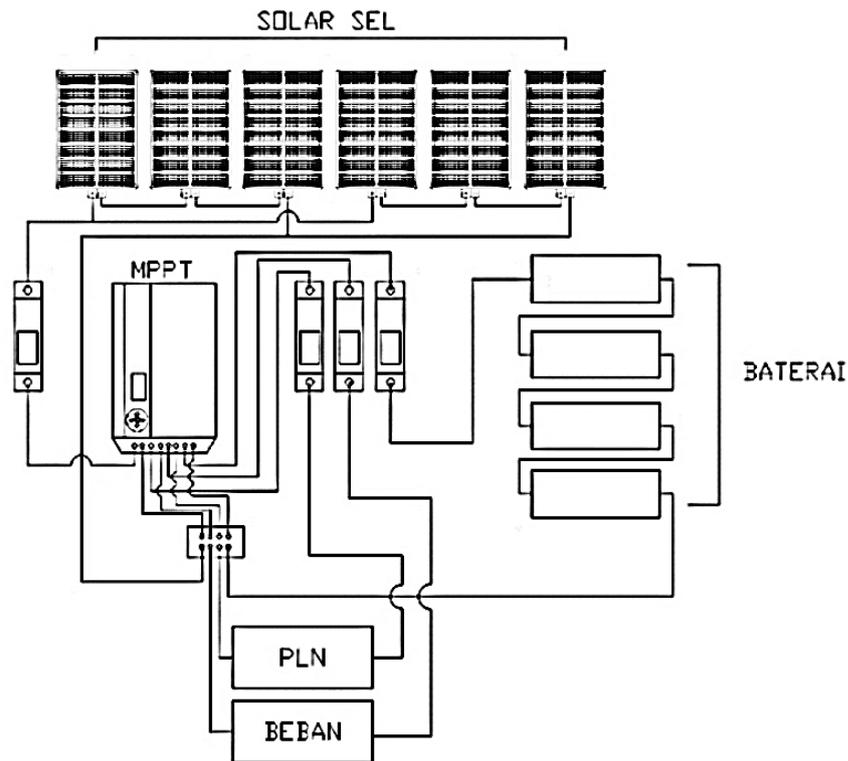
Blok diagram adalah suatu perencanaan alat yang mana didalamnya terdapat inti dari pembuatan modul tersebut. Berikut adalah diagram blok PLTS pada rumah tinggal dapat dilihat pada Bagan 3.1 berikut ini.



Gambar 3.3. Blok Diagram PLTS Rumah Tinggal

### 3.4 Skematik Diagram

Diagram skematik adalah representasi yang disederhanakan dari suatu sistem. Skema semacam itu sering tidak untuk skala dan menggunakan simbol daripada gambar yang realistis. Tujuan mereka adalah untuk menjelaskan bagaimana suatu sistem diorganisasikan dan bagaimana cara kerjanya. Skematik diagram penelitian Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.4. Skematik Diagram

Dari gambar diatas maka dapat kita lihat 8 buah panel surya yang dirangkai secara seri-paralel.

### 3.5 Metode Penelitian

#### 3.5.1 Menentukan Kebutuhan Daya Listrik

Dengan menghitung jumlah watt daya yang dibutuhkan oleh masing-masing peralatan rumah tangga dan berapa lama pemakaian selama sehari hasil dari perhitungan ini menghasilkan daya satuan watt jam sehari. Namun, energi listrik yang dihasilkan PLTS tidak 100% dapat digunakan karena ada rugi-rugi daya sebesar 30% .

#### 3.5.2 Menentukan Kapasitas Panel Surya

Untuk menghitung banyak panel surya yang dibutuhkan. Watt peak adalah besarnya atau optimalnya nominal watt tertinggi yang dapat dihasilkan dari sebuah panel surya. Waktu optimal biasanya dimulai dari jam 09.00 – 16.00.

Untuk menentukan banyak panel surya yang dibutuhkan dapat dicari dengan rumus :  $\text{Panel Surya} = \text{Total daya} : \text{Waktu optimal}$

Adapun spesifikasi Panel Surya jenis *Monocrystalline* yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini terlihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Spesifikasi Panel Surya jenis *Monocrystalline*

Spesifikasi Panel Surya Jenis <i>Monocrystalline</i>	
Peak Power (Pmax)	545 WP
Open Circuit Voltage (Voc/V)	49,65 V
Short Circuit Current (Isc/A)	13,92 A
Voltage (Vmp)	41,80 V
Current (Isc)	13,04
Ukuran	2256 x 1133 x 35 mm
Max. System Voltage	1500 VDC
Jenis Panel	<i>Monocrystalline</i>
Berat	27,2 Kg

### 3.5.3 Menentukan Kebutuhan Baterai

Baterai pada PLTS digunakan sebagai penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya pada siang hari, lalu dialirkan ke beban listrik langsung pada malam hari.

Energi listrik pada baterai tidak 100% dapat digunakan karena pada saat di inverter ada potensi kehilangan tegangan sebesar 5% . Selanjutnya bisa memilih spesifikasi baterai yang sesuai kebutuhan. Dan menghitung banyak baterai yang dipakai bisa menggunakan rumus :  $\text{Jumlah baterai} = \text{Daya Listrik} : \text{Kapasitas Baterai}$ .

Untuk baterai yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini adalah *Battery* Lifepo4 48V 100Ah dengan spesifikasi baterai tampak pada Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2. Spesifikasi baterai Panel Surya

Spesifikasi Baterai Panel Surya	
<i>Nominal Voltage</i>	48 V
<i>Rated Capacity</i>	100 Ah
<i>Rated Energy</i>	4800 WH
<i>Type Battery</i>	Lithium-ion

### 3.5.4 Menentukan Kapasitas Inverter

*Inverter* adalah alat yang mengubah arus DC ke AC. Untuk menentukan *inverter*, dapat diasumsikan jika semua alat menyala bersamaan. Maka untuk memilih *inverter* gunakan *inverter* dengan output yang lebih besar dari daya yang dibutuhkan.

Untuk *inverter* yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini adalah jenis MPPT *Pure Sine Wave* dengan rincian pada Tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3. Spesifikasi Inverter MPPT *Pure Sine Wave*

Spesifikasi Inverter MPPT <i>Pure Sine Wave</i>	
<i>PV Input</i>	48 V, MPPT 50-150VDC
<i>Max Solar Charging</i>	60 A
<i>Input Voltage</i>	220VAC
<i>Output Voltage</i>	220VAC
<i>Type Battery</i>	VRLA / GEL Deep Cycle / LITHIUM-ION
<i>Output Frequency</i>	50/60Hz
<i>Size</i>	512x325x136 mm
<i>Weight</i>	25 Kg
<i>Inverter Efficiency</i>	>98%

### 3.5.5 Menghitung *Break Even Point* (BEP)

*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.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Kebutuhan PLTS dan Pemakaian Energi Listrik PLN

Perencanaan PLTS untuk rumah tinggal sederhana dengan kapasitas daya 2200 VA luas bangunan (8x14 m<sup>2</sup>) dilakukan dengan menentukan kapasitas kebutuhan daya listrik pada rumah tangga yang bisa dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Daya listrik untuk rumah tinggal

Peralatan	Jumlah Unit	Daya(W)	Total Daya (W)
Lampu Luar	5	15	75
Lampu Kamar	4	12	48
Lampu Dalam	3	35	105
TV LED 43"	1	60	60
Pompa Air	1	125	125
Kulkas LG	1	170	170
Kulkas Dapur	1	110	110
AC	3	370	1110
<i>Rice Cooker</i>	1	400	400
Kipas Angin	1	130	130
Mesin Cuci	1	330	330
Total Beban			2663

Berdasarkan Tabel 4.1 dari jumlah beban yang terpasang pada rumah tinggal adalah 2663 . Beban yang terpasang tidak dimanfaatkan selama 24 jam. Adapun penggunaan beban dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.2. Konsumsi daya listrik

Peralatan	Total Beban (W/H)	Jam Pemakaian	Daya W/H
Lampu Luar	75	12	900
Lampu Kamar	48	8	384
Lampu Dalam	105	5	525
TV LED 43"	60	5	300
Pompa Air	125	7	875
Kulkas LG	170	24	4080
Kulkas Dapur	110	24	2640
AC	1110	5	5550

<i>Rice Cooker</i>	400	5	2000
Kipas Angin	130	2	260
Mesin Cuci	330	1	330
Total Konsumsi Daya / Hari			17844

Penggunaan daya terbesar digunakan pada AC dan terkecil pada TV. Total Energi (Wh) yang digunakan berdasarkan tabel 4.2 adalah 17844 W/H.

Total Energi (kWh)

$$= 17844 : 1000$$

$$= 17,844 \text{ kWh}$$

Dari tabel 4.2, total konsumsi daya per hari pada rumah adalah sebesar 17944 W/H perhari. Untuk mengantisipasi mendung (tanpa sinar matahari 1 harian). Sehingga perlu adanya penambahan 30% dari 17944 WH menjadi 25491 WH, waktu optimal biasanya dimulai dari jam 09.00 sampai 16.00, sehingga waktu optimal 8 jam.

#### 4.2 Perancangan PLTS Secara Teknis

Berdasarkan waktu beroperasi PLTS pada pukul 09.00 – 16.00 yang berlangsung 8 jam dalam sehari sehingga untuk menghitung banyaknya kebutuhan panel surya yang digunakan:

$$\text{Panel Surya} = \text{Total Daya} : \text{Waktu Ideal}$$

$$= 25491 : 8 \text{ Jam}$$

$$= 3186 \text{ Watt Peak}$$

Jadi untuk mendapatkan daya yang diinginkan, maka menggunakan panel sebesar 545 Wp, maka panel yang dibutuhkan  $3186 \text{ Wp} : 545 \text{ Wp} = 5,8$  buah sehingga dibulatkan menjadi 6 buah panel surya.

Pemasangan panel surya dihubungkan secara seri-paralel. Spesifikasi panel dengan daya 545 Wp dengan tegangan 41,80 V dan arus 13.04 A. Pemasangan 3 dirangkai seri dan 3 lainnya seri juga. Selanjutnya, kedua rangkaian seri tersebut dirangkai secara paralel. Hasil tegangannya 125,4 V dan arusnya 26,08 A.

### **1. Kebutuhan Kapasitas Baterai**

Kapasitas minimum baterai yang dibutuhkan untuk beban rumah tangga dengan daya 2200 VA adalah sebesar 17.844 W. Pada baterai tidak 100% dapat digunakan karena pada saat di inverter ada potensi kehilangan tegangan sebesar 5%, sehingga perlu adanya cadangan sebesar 5%.

$$\text{Daya Listrik} = 17844 : 95\% = 18.783 \text{ W}$$

Untuk menentukan baterai adalah 18.783 W. Selanjutnya memilih menggunakan kapasitas baterai sebesar 48v 100Ah

$$P = I \times V$$

$$P = 100 \text{ Ah} \times 48 \text{ V}$$

$$P = 4800 \text{ W}$$

Maka, jumlah baterai yang dibutuhkan

$$= \text{Beban yang terpasang} : \text{Daya baterai}$$

$$= 18.783 : 4800$$

$$= 3,9 \text{ buah (dibulatkan menjadi 4 buah baterai).}$$

### **2. Inverter**

*Inverter* yang digunakan dipilih berdasarkan daya beban yang dipakai sehingga 5 kVA 4 kW *Pure Sine Wave* 220V 50 Hz dengan input 48VDC dan efisiensi 98% menjadi pilihan yang sesuai kebutuhan.

### **3. Menentukan Biaya Harian Beban Rumah**

Daya listrik terpasang 2200 VA

Tarif listrik per kWh = Rp. 1444,70

Untuk total tarif harian kebutuhan rumah bisa dilihat pada Tabel 4.3 misal untuk biaya penggunaan daya listrik pada lampu luar.

Lampu Luar

$$\text{Energi (W/H)} = 900 : 1000 = 0,9 \text{ kWh}$$

$$\text{Tarif PLN per harinya} = 0,9 \text{ kWh} \times \text{Rp. 1444,70} = \text{Rp. 1.517}$$

Tabel 4.3. Tarif harian

Beban Listrik	Daya/jam	Total Biaya Per Hari (Rp)
Lampu Luar	900	1.300
Lampu Kamar	384	555
Lampu Dalam	525	758
TV LED 43"	300	433
Pompa Air	875	1.445
Kulkas LG	4080	6.935
Kulkas Dapur	2640	3.814
AC	5550	8.018
<i>Rice Cooker</i>	2000	2.889
Kipas Angin	260	376
Mesin Cuci	330	477
<b>Total Biaya Harian</b>		<b>27.000</b>

Berdasarkan Tabel 4.3 diatas jumlah tarif harian pemakaian listrik sebesar Rp. 27.000 untuk mendapatkan tagihan listrik per bulan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &\text{Total Tarif harian} \times 30 \text{ hari} \\ &= \text{Rp. } 27.000 \times 30 \text{ hari} \\ &= \text{Rp. } 810.000 \end{aligned}$$

### 4.3 Biaya PLTS Secara Ekonomis

Pada saat pembangunan PLTS untuk rumah tinggal ini ada beberapa biaya yang dibutuhkan untuk membeli bahan dan alat yang diperlukan. Adapun biaya kebutuhan yang diperlukan dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Kebutuhan dan biaya PLTS untuk rumah tinggal

Peralatan Spesifikasi	Jumlah Komponen	Harga Per Unit(Rp)	Total Harga(Rp)
Panel Surya 545 WP	6	3.325.000	19.950.000
<i>Battery</i> 48V x 100Ah	4	8.900.00	35.600.000
<i>Inverter</i> 5 kVA <i>Pure Sine Wave</i>	1	9.844.00	9.844.000
Kabel,Soket, dan Kebutuhan		2.000.000	2.000.000

lainnya		
Media <i>Solar Cell</i>	3.000.000	3.000.00
Rak Baterai	1.500.000	1.500.000
Total Biaya Pemasangan		71.894.000

Pada saat penggunaan PLTS atau *Solar Cell* tetap memerlukan biaya untuk perawatan agar penggunaan panel surya tetap bisa digunakan sampai batas waktu yang diinginkan atau ditentukan. Komponen yang digunakan jika terjadi kerusakan menjadi perhatian khusus hal ini diperlukan agar tidak mengurangi dan mengubah sistem perancangan PLTS yang sudah dipasang. Biaya pemeliharaan dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Biaya pemeliharaan

Bahan	Jumlah	Harga (Rp)	Biaya (Rp)
Baterai 48V x 100aH	4	Rp. 8.900.000	35.600.000

Adapun biaya tambahan operasional dari PLTS tergantung dari baterai yang digunakan biasanya penggantian baterai dilakukan selama 5 tahun sekali dalam jangka 25 tahun. Maka total biaya pemeliharaan per 5 tahun Rp. 35.600.000 untuk pembelian 4 buah baterai.

Tabel 4.6. Biaya investasi selama 25 tahun

Biaya Investasi (Rp)	Biaya Pemeliharaan (Rp)	Total (Rp)
71.894.000	142.400.000	214.294.000

Pada tabel 4.6 diperoleh biaya perencanaan selama 25 tahun biaya investasi ini bersumber dari biaya pembelian bahan dan alat yang dipakai dan juga biaya operasional diperoleh dari biaya pergantian baterai yang dipakai selama 25 tahun. Dapat diperoleh biaya tahunan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Total biaya tahunan} &= \text{Total biaya PLTS} / 25 \text{ Tahun} \\
 &= \text{Rp. } 214.294.000 / 25 \text{ Tahun} \\
 &= \text{Rp. } 715.000
 \end{aligned}$$

Dari biaya diatas didapat biaya tahunan yang dibutuhkan dana sebesar Rp. 715.000 dan biaya bulannya hanya Rp. 60.000. Sedangkan penggunaan listrik dari PLN sebulan Rp. 810.000.

### **Perhitungan BEP (*Break Even Point*)**

Perlunya perhitungan BEP (*Break Even Point*) atau biaya balik modal adalah untuk mengetahui berapa lama nilai biaya balik modal yang dipakai untuk membangun PLTS. Perhitungan BEP PLTS sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{BEP} &= \text{Biaya Total Investasi} / \text{Biaya Listrik Tahunan} \\ &= \text{Rp. 214.294.000} / \text{Rp. 9.720.000} \\ &= 22 \text{ Tahun} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas bisa kita lihat bahwa balik modal untuk pembangunan PLTS jangka 25 tahun adalah 22 tahun dan penghematan listrik bisa mencapai 3 tahun pemakaian.

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian Tugas Akhir ini diperoleh untuk total beban rumah dengan luas ( $8 \times 14 \text{ m}^2$ ) adalah 17844 WH.

1. Besar panel yang dipasang berkapasitas 3270 Wp, dengan Baterai berkapasitas 19200 Ah dan Inverter kapasitas 5kVA 4kW untuk menjalankan beban rumah tinggal sebesar 17844 WH.
2. Untuk biaya perancangan PLTS *Off-Grid* pada rumah tinggal yang menjadi investasi awal sebesar Rp. 71.894.000 dan untuk biaya pemeliharaan semalam 5 tahun sebesar Rp. 35.600.000 jadi biaya pertahun yang harus disediakan sebesar Rp. 715.000.
3. Energi yang digunakan sebesar 17,844 kWh dengan tarif harian sebesar Rp 27.000 dan tarif perbulannya Rp 810.000. Untuk biaya balik modal adalah 22 Tahun dan penghematan energi bisa mencapai 3 tahun dari jangka pasang 25 tahun.

#### **5.2 Saran**

Pada penelitian ini ada beberapa saran yang harus disampaikan sebagai berikut:

1. Pemilihan tempat pemasangan PLTS harus tepat agar mendapat sinar matahari yang cukup banyak.
2. Dalam Pemilihan panel surya harus berkualitas agar menghasilkan lebih banyak energi daripada yang murah.
3. Perhatikan PLTS tetap bersih agar efisiensi kerjanya tetap baik.
4. Gunakan Inverter yang berkualitas agar energi yang dihasilkan lebih optimal.
5. Lakukan pembersihan secara teratur.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bagaskoro, Bimo, Jaka Windarta, and Denis. 2019. "Perancangan Dan Analisis Ekonomi Teknik Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem Offgrid Menggunakan Perangkat Lunak Homer Di Kawasan Wisata Pantai Pulau Cemara." *Transient* 8(2):152–57.
- Diantari Aita Retno, Erlina, Widyastuti Christine. 2018. "Studi Penyimpanan Energi Pada Baterai PLTS." *Energi & Kelistrikan* 9(2):120–25.
- Evalina, N., A. Azis H, Rimbawati, and Cholish. 2019. "Efficiency Analysis on the Inverter Using the Energy-Saving Lamp." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 674(1). doi: 10.1088/1757-899X/674/1/012034.
- Evalina, N., F. I. Pasaribu, and R. D. Ivana. 2021. "Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 200 Wp Dengan Sistem Solar Charger Pada Beban Kipas Angin." *Seminar Nasional Teknik ...*
- Gultom, Togar Timotheus. 2015. "Pemanfaatan Photovoltaic Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya." *Jurnal Mudira Indure* 1(3):33–42.
- Julisman, Andi, Ira Devi Sara, and Ramdhan Halid Siregar. 2017. "Prototipe Pemanfaatan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Pada Sistem Otomasi Stadion Bola." *Kitekro* 2(1):35–42.
- Martawati, Mira. 2018. "Intensitas Cahaya Terhadap Daya Dari Panel Surya." *Jurnal ELTEK* 16:125–36.
- Pohan, M. Y., D. Pinayungan, M. F. Zambak, and ... 2021. "Analisa Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Rumah Tinggal Di Pondok 6." ... (*Seminar of Social ...* 335–41).
- Pramudita, Brahmantya Aji, Bandiyah Sri Aprillia, and Mohamad Ramdhani. 2021. "Analisis Ekonomi on Grid PLTS Untuk Rumah 2200 VA." *Jurnal Listrik, Instrumentasi Dan Elektronika Terapan (JuLIET)* 1(2):23–27. doi: 10.22146/juliet.v1i2.61879.
- Purwoto, Bambang Hari. 2018. "Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif." *Emitor: Jurnal Teknik Elektro* 18(01):10–14. doi: 10.23917/emitor.v18i01.6251.
- RAHMAN, M., and S. Agustina. 2021. "Rancang Bangun Sistem Charge Controller Baterai Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Sungai Berbasis Arduino."

- Ramadhan, Anwar Ilmar, Ery Diniardi, and Sony Hari Mukti. 2016. "Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP." *Teknik* 37(2):59. doi: 10.14710/teknik.v37i2.9011.
- Rezky Ramadhana, Ryan, Muh M. Iqbal, Abdul Hafid, and Jurusan Teknik Elektro. 2022. "Analisis Plts on Grid." *Vertex Elektro* 14(1):12–25.
- 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.
- Stt-pln, D. I. 2018. "Kajian Kualitas Daya Listrik Plts Sistem Off-Grid." 10(2):93–101.
- Sujono, Hari Agus, Riny Sulistyowati, and Agus Budi Rianto. 2017. "Maximum Power Point Tracker Menggunakan Algoritma Hill Climbing Pada Photovoltaic." *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Elektro Terapan 2017* 01(01):37–42.
- Sulistyowat, Riny, and Dedi Dwi Febriantoro. 2015. "Perancangan Prototype Sistem Kontrol Dan Monitoring Pembatas Daya Listrik Berbasis Mikrokontroler." *Iptek* 16(Mikrokontroler):10–21.
- Syukri, Mahdi, and Kata Kunci. 2010. "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpadu Menggunakan Software PVSYST Pada Komplek Perumahan Di Banda Aceh." *Jurnal Rekayasa Elekrika* 9(2):77–80.

## LAMPIRAN



Gambar 7.1. Lokasi Penelitian



Gambar 7.2. Panel terpasang



Gambar 7.3. Tiang Penyangga Panel Surya



Gambar 7.4. Pembersihan

<b>Electrical Characteristics</b>		STC: AM1.5 1000W/m <sup>2</sup> 25°C		NOCT: AM1.5 800W/m <sup>2</sup> 20°C 1m/s		Test uncertainty for P <sub>max</sub> ±3%					
Module Type	LR5-72HPH-530M		LR5-72HPH-535M		LR5-72HPH-540M		LR5-72HPH-545M		LR5-72HPH-550M		
Testing Condition	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	
Maximum Power (P <sub>max</sub> /W)	530	395.8	535	399.5	540	403.3	545	407.0	550	410.7	
Open Circuit Voltage (V <sub>oc</sub> /V)	49.20	46.12	49.35	46.26	49.50	46.41	49.65	46.55	49.80	46.69	
Short Circuit Current (I <sub>sc</sub> /A)	13.71	11.09	13.78	11.15	13.85	11.20	13.92	11.25	13.98	11.31	
Voltage at Maximum Power (V <sub>mp</sub> /V)	41.35	38.50	41.50	38.64	41.65	38.78	41.80	38.92	41.95	39.06	
Current at Maximum Power (I <sub>mp</sub> /A)	12.82	10.28	12.90	10.34	12.97	10.40	13.04	10.46	13.12	10.52	
Module Efficiency(%)	20.7		20.9		21.1		21.3		21.5		

### Operating Parameters

Operational Temperature	-40°C ~ +85°C
Power Output Tolerance	0 ~ +5 W
V <sub>oc</sub> and I <sub>sc</sub> Tolerance	±3%
Maximum System Voltage	DC1500V (IEC/UL)
Maximum Series Fuse Rating	25A
Nominal Operating Cell Temperature	45±2°C
Protection Class	Class II
Fire Rating	UL type 1 or 2

### Mechanical Loading

Front Side Maximum Static Loading	5400Pa
Rear Side Maximum Static Loading	2400Pa
Hailstone Test	25mm Hailstone at the speed of 23m/s

### Temperature Ratings (STC)

Temperature Coefficient of I <sub>sc</sub>	+0.048%/°C
Temperature Coefficient of V <sub>oc</sub>	-0.270%/°C
Temperature Coefficient of P <sub>max</sub>	-0.350%/°C

Gambar 7.5. Spesifikasi PLTS



Gambar 7.6. Spesifikasi *Inverter* dan MPPT



Gambar 7.7. Rak kontrol Panel Surya

### LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Alat Pengering Pakaian Otomatis

NAMA : RAFLI FIKRI

NPM : 1807220025

Dosen Pembimbing : NOORLY EVALINA.,ST.,MT

No	Hari/Tanggal	Keterangan	Paraf
1	20/11 - 2022	Acc judul. Pelibat rumus	<i>[Signature]</i>
2	30/11 - 2022	Pelibat isi pada lagipin BAB 2	<i>[Signature]</i>
3	5/12 - 2022	Pelibat kesimpulan dan referensi	<i>[Signature]</i>
4	20/12 - 2022	Pelibat daftar pustaka	<i>[Signature]</i>
5	2/1/3 - 2022	Pelibat format Pelibat	<i>[Signature]</i>
6	9/1/3 - 2022	Acc sampul	<i>[Signature]</i>

### LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

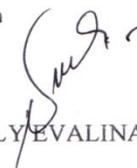
Judul : Analisis Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya pada Rumah  
Tinggal di Jalan Perunggu Kelurahan Kota Bangun

Nama : RAFLI FIKRI

NPM : 1807220025

No	Hari/Tanggal	Keterangan	Paraf
	Rabu / 11-1-2023	Perbaiki Gambar	Sudi
	Rabu / 18-1-2023	Perbaiki Data dan kurva	Sudi
	Jumat / 3-3-2023	Perbaiki rumus yang salah	Sudi
	Selasa / 14-2-23	Acc Gambar	Sudi

Dosen Pembimbing

14  
2  
2023  
Acc Sudi  


NOORLY EVALINA.,ST.,MT

**LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR**

Judul : Analisis Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya pada Rumah  
Tinggal di Jalan Perunggu Kelurahan Kota Bangun

Nama : RAFLI FIKRI

NPM : 1807220025

No	Hari/Tanggal	Keterangan	Paraf
1	11/05 - 2023	Aec Sideg TA	Sudri.

Dosen Pembimbing

*Aec Sideg TA*  


NOORL KEVALINA.,ST.,MT

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### DATA DIRI

Nama : Raflifikri  
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 19 Juli 2000  
Alamat : Jalan Perunggu No. 70 LK. V Kelurahan Kota Bangun, Kecamatan Medan Deli, Kota Medan, Sumatera Utara, 20243  
Agama : Islam  
Telepon : 082272824121  
Email : raflifikri176@gmail.com

### RIWAYAT PENDIDIKAN

Tingkat	Nama sekolah	Tahun Lulus
SD	SD Surya Bakti	2012
SMP	SMP Negeri 43 Medan	2015
SMA	SMA Triadi Teknologi Informatika	2018
Perguruan Tinggi (S1)	Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU)	2023