

TUGAS AKHIR

ANALISIS PERENCANAAN PENGGUNAAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) SEBAGAI CADANGAN DAYA LISTRIK RUMAH TANGGA (SOLAR HOME SYSTEM)

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh

Gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Elektro Pada

Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Disusun Oleh :

FAJAR YUSUF

1507220011



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2022

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini di ajukan oleh :

Nama : Fajar Yusuf

NPM : 1507220011

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisis Perencanaan Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Cadangan Daya Listrik Rumah Tangga (Solar Home System).

Telah berhasil di pertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang di perlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada program studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Medan, 24 September 2022

Mengetahui dan Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



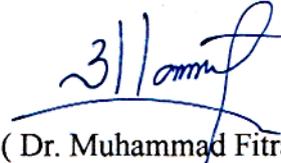
(Rohana, S.T, M.T)

Dosen Pembimbing II



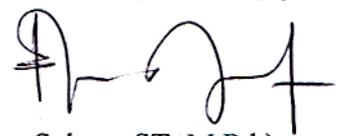
(Faisal Irsan Pasaribu, S.T, M.T)

Dosen Pembanding I / Penguji I



(Dr. Muhammad Fitra Zambak)

Dosen Pembanding II / Penguji II



(Elvy Sahnur ST. M.Pd)

Program 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 : Fajar Yusuf
Tempat /Tanggal Lahir : Medan, 16April 1996
NPM : 1507220011
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

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

“Analisis Perencanaan Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Cadangan Daya Listrik Rumah Tangga (Solar Home System)”.

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

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

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

Medan, 24 September 2022

Saya Yang Menyatakan



Fajar Yusuf

ABSTRAK

Listrik merupakan energi yang memiliki peran penting dalam kehidupan manusia. PT. PLN sebagai penyedia energi listrik sekarang mengalami kesulitan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik nasional, hal ini disebabkan karena kebutuhan listrik jauh lebih besar dibandingkan dengan kapasitas pembangkitan energi yang ada saat ini. Kondisi ini yang mendorong untuk mencari dan mengkaji pemanfaatan sumber energi terbarukan yang sifatnya murah, ramah lingkungan serta tidak terbatas. Indonesia memungkinkan menjadikan sel surya sebagai salah satu sumber energi terbarukan, mengingat posisi Indonesia berada pada garis khatulistiwa yang memungkinkan sinar matahari secara optimal dapat menyinari permukaan panel surya. Sehingga dapat mengisi baterai dengan optimal dan mampu memback up daya listrik rumah tangga ketika terjadi pemutusan supply dari PLN. Metode yang digunakan adalah memanfaatkan PLTS sebagai sumber energi terbarukan untuk memback up daya listrik rumah tangga ketika terjadi pemutusan supply dari PLN. Hasil penelitian yang telah diketahui bahwa dengan menggunakan panel surya merk A Grade 100 Wp sebanyak 13 pcs dan baterai merk Yuasa 105 Ah 12 Volt sebanyak 5 pcs mampu memback up daya PLN jika terjadi pemutusan adalah 7 jam 20 menit.

Kata kunci : PLTS, *Solar Home System*, Sel Surya, *Photovoltaic*

ABSTRACT

Electricity is energy that has an important role in human life. PT. PLN as a provider of electrical energy is now having difficulty meeting the needs of national electrical energy, this is because the electricity demand is much greater than the current energy generation capacity. This condition encourages the search and study of the use of renewable energy sources that are cheap, environmentally friendly and unlimited. Indonesia makes it possible to make solar cells as a source of renewable energy, considering that Indonesia's position is on the equator which allows sunlight to optimally illuminate the surface of solar panels. So that it can charge the battery optimally and be able to back up household electrical power when there is a supply cut off from PLN. The method used is to utilize PLTS as a source of renewable energy to back up household electrical power when there is a supply cut off from PLN. The results of the research that it is known that by using 13 pcs A Grade 100 Wp brand solar panels and 5 pcs Yuasa 105 Ah 12 Volt brand batteries are able to back up PLN power in the event of a disconnection is 7 hours 20 minutes.

Keywords: PLTS, Solar Home System, Solar Cells, Photovoltaic,

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kehadirat ALLAH SWT yang telah memberikan karunia dan hidayah-Nya,serta tiada daya dan upaya melainkan hanya kekuatan dari-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas sarjana yang berjudul“Analisis PerencanaanPenggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Cadangan Daya Listrik Rumah Tangga (Solar Home System)”.

Tugas Sarjana ini merupakan salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU).

Adapun Tugas Sarjana ini tak luput dari bantuan dan bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung, dengan segenap kerendahan hati penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua, Ayahanda Riyanto dan IbundaSuprianiyang telah membesarkan , mengasuh, mendidik, serta memberi semangat dan do'a yang tulus, ikhlas dengan penuh kasih sayang, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. BapakMunawar Alfansury Siregar, S.T, M.T Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Ade Faisal, S.T, M.T Selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Ibu Rohana S.T, M.T Selaku Pembimbing Akademik Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Faisal Irsan Pasaribu S.T, S.Pd, M.T Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

6. Ibu Rohana, S.T, M.T Selaku Dosen Pembimbing I.
7. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T, M.T Selaku Dosen Pembimbing II.
8. Kepada seluruh Dosen Program Studi Teknik Elektro dan Staff Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Teman-teman satu kelompok Tugas Sarjana, dan kawan seperjuangan Stambuk 2015, khususnya anak A3 malam yang telah membantu dan memberi dukungan dan motivasi penulisan sehingga tersusunlah Tugas Sarjana ini.

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

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat menambah dan memperkaya lembar khazanah pengetahuan dan juga bermanfaat bagi para pembaca sekalian dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelumnya penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya.

Assalamualaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, 24 September 2022

Penulis

Fajar Yusuf

1507220011

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	ix

BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Ruang lingkup.....	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Sistematika Penulisan	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	5
2.2 Landasan Teori	9
2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	9
2.2.2 Sel Surya	12
2.2.3 Prinsip Kerja Sel Surya	14
2.2.4 Rangkaian Seri dan Paralel Sel Surya.....	15
2.2.5 Proses Konversi <i>Solar Cell</i>	16
2.2.6 Kristal Sel Surya	21
A. Jenis-Jenis Kristal Sel Surya	21
2.2.7 Modul Surya.....	22
A. Cara Kerja Modul Surya.....	23
B. Konstruksi Modul Surya.....	24
2.2.8 Panel Surya	25
A. Bahan Modul Panel Surya.....	26
B. Cara Kerja Panel Surya	27
C. Karakteristik Pada Panel Surya.....	28
2.2.9 Array	30
2.2.10 Bateray	31
A. Jenis-jenis Baterai.....	32
B. Konstruksi Baterai	34
C. Prinsip Kerja Baterai	34
2.2.11 Solar Charge Controller	36
A. Fungsi Solar Charge Controller.....	37
B. Jenis-jenis Solar Charge Controller.....	38
2.2.12 Inverter	38
A. Prinsip Kerja Inverter	39

B. Struktur Inverter	42
C. Pengendalian Tegangan Inverter	44
2.2.13 Solar Home System (SHS).....	46
2.2.14 Daya Listrik.....	47
BAB 3 METODE PENELITIAN	50
3.1 Waktu dan Tempat.....	51
3.2 Peralatan dan Bahan	51
3.3 Bagan rangkian	53
3.4 Diagram alir penelitian	54
3.5 Prosedur Penelitian	55
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	57
4.1 Deskripsi Umum.....	58
4.2 Analisis Beban Listrik Yang Terpakai Pada Rumah Tangga.....	59
4.3 Analisa Sistem Keluaran PLTS.....	63
4.4 Analisis Karakteristik Baterai Yang digunakan.....	65
BAB 5 PENUTUP.....	67
5.1 Kesimpulan.....	67
5.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar.2.1. Sistem PLTS.....	11
Gambar.2.2.Sel Surya	13
Gambar.2.3.Struktur Sel Surya	14
Gambar.2.4.Simbol Sel Surya.....	14
Gambar.2.5.Rangkaian Paralel Sel Surya (Solar Cell) – Meningkatkan Arus (Ampere)	15
Gambar.2.6.Rangkaian Paralel Sel Surya (Solar Cell) – Meningkatkan Tegangan (Voltage)	16
Gambar.2.7.semikonduktor jenis p dan n sebelum disambung.....	16
Gambar.2.8.Perpindahan Electron Dan Hole Pada Semikonduktor	17
Gambar.2.9.Hasil Muatan Positif Dan Negative Pada Semikonduktor	17
Gambar.2.10.Sambungan Semikonduktor Terkena Cahaya Matahari.....	19
Gambar.2.11.Sambungan Semikonduktor Ditembus Cahaya Matahari	19
Gambar.2.12.Kabel Dari Semikonduktor Dihubungkan Kelampu	20
Gambar.2.13.Modul Surya.....	23
Gambar.2.14.Konstruksi Modul Surya	25
Gambar.2.15.Bagian-bagian Panel Surya	26
Gambar.2.16.Cara Kerja Panel Surya	27
Gambar.2.17.Karakteristik Tegangan Arus dan Kurva Daya	29
Gambar.2.18.Kurva I-V Terhadap Tingkat Irradiance dan Temperatur yang Tetap	29
Gambar.2.19.Kemampuan Sel Surya pada Beberapa Variasi.....	29
Gambar.2.20.Karakteristik Tegangan-Arus pada Silikon Photovoltaic.....	30
Gambar.2.21.Baterai	32
Gambar.2.22 Kontruksi Baterai (Hamid et al., 2016)	34
Gambar.2.23Proses pengosongan dan pengisian baterai	35
Gambar.2.24. Solar Charge Controller	37
Gambar.2.25.Gelombang DC dan AC	39
Gambar.2.26.Prinsip Kerja Inverter (Teknisi,2017)	39
Gambar.2.27.Bentuk Gelombang dari Inverter Setengah Gelombang	40
Gambar.2.28. Bentuk Gelombang dari Inverter Gelombang Penuh	40
Gambar.2.29.Cara kerja saklar pada inverter.....	41
Gambar.2.30.Bagian utama Inverter	42
Gambar.2.31.Struktur Inverter Sederhana	43
Gambar.2.32.Bipolar Switching Scheme	45
Gambar. 2.33. Unipolar Switching Scheme.....	45
Gambar.3.1.Bagan Alir Penelitian	43

DAFTAR TABEL

Tabel4.1. Data beban harian rumah tangga (daya terpasang 900VA)	60
Tabel. 4.2. Karakteristik bebanharian rumah tangga (daya terpasang 900 VA)	61

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi peradaban manusia. Peningkatan penggunaan energi listrik dapat dibuat sebagai indikator meningkatnya suatu populasi manusia. Namun dalam waktu yang sama timbul masalah dalam upaya penyediaannya. Hal ini disebabkan oleh menipisnya persediaan minyak bumi di Indonesia, sehingga energi terbarukan sebagai alternatif yang harus ditingkatkan. Salah satu energi terbarukan yang harus ditingkatkan ialah pemanfaatan energi matahari, sebab Indonesia sebagai negara tropis mempunyai potensi yang sangat tinggi. Potensi ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif yang murah dan tersedia sepanjang tahun. Oleh karena itu penggunaan teknologi PLTS untuk memanfaatkan potensi energi surya yang tersedia di daerah terpencil merupakan solusi yang tepat. Salah satu sistem energi surya ialah “*Solar Home System* “. SHS ini terdiri dari panel modul surya, baterai, alat pengontrol dan lampu. SHS dipasang pada masing-masing rumah dengan modul fotovoltaik di atas atap rumah. Penggunaan *solar home system* sebagai alternatif pengganti listrik konvensional sebagai kebutuhan listrik rumah tangga, selain ramah lingkungan *solar home system* juga tidak membutuhkan perawatan yang mahal seperti layaknya penggunaan energi terbarukan yang lain. Selain itu *solar home system* juga cocok digunakan di wilayah Indonesia yang memiliki iklim tropis dan memiliki suhu panas yang cukup untuk penggunaan *solar home system*. Berdasarkan pada kajian di atas maka peneliti melakukan “Analisis Perencanaan Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Untuk Rumah Tangga.

1.1 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini akan membahas rumusan masalah yang dapat diangkat pada tugas akhir adalah :

1. Bagaimana karakteristik beban listrik yang terpakai pada rumah tangga dengan daya terpasang 900 VA ?
2. Bagaimana sistem keluaran PLTS ?
3. Berapa lama ketahanan baterai dalam *back up* energi listrik PLN pada rumah tangga dengan daya terpasang 900 VA ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dalam tugas akhir ini adalah :

1. Menganalisis karakteristik beban listrik yang terpakai pada rumah tangga dengan daya terpasang 900 VA.
2. Menganalisis sistem keluaran PLTS.
3. Menganalisis ketahanan baterai dalam *back up* energi listrik PLN pada rumah tangga dengan daya terpasang 900 VA.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Dalam hal ruang lingkup penelitian, dapat dilihat sebagai berikut:

1. Menganalisis beban listrik rumah tangga.
2. Menganalisis sistem keluaran PLTS.
3. Menganalisis karakteristik baterai yang digunakan.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan penulis adalah :

1. Bagi Penulis.

Tugas akhir ini dapat menjadi pengetahuan yang positif untuk mendalami ilmu tentang PLTS.

2. Bagi UMSU.

Tugas akhir ini dapat digunakan mahasiswa untuk menambah wawasan tentang PLTS dan dapat digunakan sebagai referensi jurnal bagi mahasiswa lain.

3. Bagi Industri.

Tugas akhir ini dapat menjadi referensi bagi perusahaan untuk membangun energi terbarukan yang ramah lingkungan.

1.6 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Penulis hanya menganalisis beban listrik yang terpakai pada rumah tangga dengan daya terpasang 900 VA.
2. Penulis hanya menganalisis keluaran PLTS.
3. Penulis hanya membahas berapa lama ketahanan baterai yang digunakan.

1.7 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah pembahasan dan pemahaman, maka sistematika penulisan tugas akhir ini diuraikan secara singkat sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang penyusunan Tugas Akhir, latar belakang, rumusan masalah, tujuan masalah dan batasan masalah, manfaat penulisan, serta sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Menjelaskan tentang tinjauan pustaka relevan, yang mana berisikan tentang teori-teori penunjang keberhasilan didalam masalah pembuatan tugas akhir ini.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini akan menerangkan mengenai alat-alat, bahan dan lokasi dilaksanakannya pembuatan, pengujian alat, jadwal pengujian, serta jalannya alat.

BAB 4 ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai analisa data dan perbandingan yang dihasilkan.

BAB 5 PENUTUP

Bab ini memuat tentang kesimpulan dari seluruh hasil pengujian tegangan dan arus keluaran PLTS terhadap kecepatan angin dan juga saransaran yang berhubungan dengan tugas akhir.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Kebutuhan akan energi semakin lama semakin meningkat sebagaimana laju pertumbuhan pembangunan. Begitu juga dengan kebutuhan energi listriknya, hampir disetiap bidang pembangunan membutuhkan energi listrik bagi proses kegiatannya. Selain industri, sektor-sektor lain juga sangat memerlukan energi listrik, salah satunya yaitu untuk keperluan rumah tangga. Dengan demikian jelaslah bahwa penggunaan energi listrik semakin lama semakin meningkat, namun peningkatan kebutuhan energi listrik ini perlu diimbangi dengan upaya pencarian sumber energi baru. Salah satu upaya yaitu dengan memanfaatkan energi surya. Melihat kriteria diatas, penulis dalam hal ini menerapkan program PLTS untuk membackup beban pada rumah tangga sehingga dengan daya 900 watt pada saat supplay PLN mati. Adapun menurut beberapa peneliti sebelumnya yang telah di kemukakan oleh beberapa peneliti bahwa :

1. (Rahman, 2021) Analisis perencanaan PLTS *Offgrid* untuk rumah tinggal tipe 45 di Kota Banjarbaru yang berdekatan dengan garis khatulistiwa sehingga mendapat sinar matahari melimpah. Metode penelitian menggunakan metode analisis kuantitatif, dengan menggunakan teknik pengumpulan data literatur dan pengukuran yang selanjutnya diperhitungkan dengan rumus. Dengan total kebutuhan daya perharinya sebesar 8.108 W. Panel surya yang digunakan tipe Monocrystalline 300 Wp sebanyak 8 buah. Jumlah hari otonomi selama 3 hari, maka diperoleh biaya investasi awal sebesar Rp. 139.862.500 dan biaya pemeliharaan tahunan selama periode 25 tahun sebesar Rp. 13.986.250.

Hal tersebut sangat membantu masyarakat mengetahui perencanaan PLTS dari segi kebutuhan komponen, luas area panel surya, dan nominal biaya yang diperlukan serta *renewable energy*.

2. (Salman, 2013) Sistem energi surya yang lainnya adalah "Solar Home System (SHS)". SHS ini terdiri dari panel modul surya, baterai, alat pengontrol dan lampu. SHS di pasang pada masing-masing rumah dengan modul *fotovoltaik* dipasang diatas atap rumah. Sistem ini biasanya mempunyai modul *fotovoltaik* dengan kapasitas 50 Wp dimana pada radiasi matahari rata-rata harian 4,5 kWh/m² akan menghasilkan energi kurang lebih 125 s/d 130 watt-jam. Masalah utama dalam penggunaan SHS adalah harganya yang masih relatif mahal untuk masyarakat terutama daerah terpencil dan miskin. Untuk itu perlu ada suatu acuan atau pedoman analisa penggunaan SHS yaitu cara menghitung dan memilih komponen SHS yang dibutuhkan masyarakat tersebut sehingga masyarakat mampu membayar dan dapat menikmati listrik, minimal untuk sarana penerangan.
3. (Bambang, 2016) Ada dua katagori dalam penggunaan energi listrik yaitu kebutuhan peralatan dan penerangan. Dengan melakukan pengukuran daya listrik bertujuan dapat mengetahui besarnya daya listrik yang sebenarnya, melakukan kajian terhadap sistem kelistrikan dan penggunaannya secara menyeluruh untuk tujuan memperoleh penghematan listrik. Pada tahun sebelumnya kami telah melakukan penelitian tentang system audit energi listrik yaitu seberapa jauh penggunaan energi listrik yang sebenarnya. Pengukuran daya listrik pada line dan atau pengaturan jadwal kerja beban. Dengan cara melakukan langkah pengukuran energi listrik pada line beban

secara real time dan kemudian data pengukuran disimpan dalam database. Hal ini mengarahkan kepada semua pelaku pengguna energi listrik dan mereka memiliki keinginan untuk melakukan program penggunaan listrik yang benar. Dalam makalah ini pengukuran arus listrik dapat menggunakan sensor arus ACS-712, sedangkan kemampuan pengukuran arus tergantung pada spesifikasi type/jenis sensor. Dengan melakukan identifikasikan sumber dari energi pada suatu area, besarnya pasokan energi, lokasi dan penggunaan dari energi tersebut. Kemudian melakukan pengukuran dari line trafo hingga ke beban, berdasarkan langkah diatas, lalu menganalisis secara detail tentang penggunaan energi, penghematan yang bisa dilaksanakan. Guna memungkinkan adanya penghematan, merekomendasikan tindakan yang harus dilakukan untuk penghematan.

4. (Rima Riyanti, Ulinuha Latifa, 2021) Pemerintah Indonesia telah mengusahakan pemanfaatan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) melalui berbagai kebijakan. Tulisan ini membahas optimasi kapasitas PLTS atap (rooftop) untuk sebuah rumah tangga mengacu pada kebijakan pemerintah tentang PLTS atap yang berlaku saat ini. Studi kasus dilakukan terhadap sebuah rumah dengan perkiraan beban PLN terpasang 2,2 kVA dan kebutuhan energi listrik sekitar 13 kWh/hari, yang berada di Surabaya. Energi keluaran system PLTS disimulasikan dengan *software PVSpot* dan *SolarGIS*. Untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga dalam studi kasus, sistem PLTS yang optimum adalah sekitar 3 kWp dengan sistem inverter yang sesuai. Energi keluaran rata-rata bulanan sistem PLTS tersebut adalah 350 kWh dengan rentang terendah dan tertinggi masing-masing 203 kWh dan 350 kWh

per bulan. Energi tersebut dapat memenuhi 90% kebutuhan energi rumah yang disimulasikan.

5. (Taro & Hamdani, 2020) Sistem PLTS Atap skala rumah tangga merupakan solusi dalam partisipasi masyarakat dalam penggunaan energi terbarukan. Sistem PLTS Atap meliputi modul surya, baterai, kontrol panel surya, inverter dan sambungan listrik. Untuk skala rumah tangga katagori sedang menggunakan daya 1300 watt, dengan spesifikasi panel surya 2 buah masing-masing 250 wp, baterai 2 buah masing-masing 100 Ah, kontrol panel surya 130 dan inverter 1300 watt. Biaya investasi awal untuk pembuatan PLTS Atap 10 sampai dengan 15 juta rupiah. Biaya beban listrik yang dibayarkan perbulan sebelum pemakain PLTS Atap berkisar 300 sampai dengan 400 ribu rupiah, setelah penggunaan PLTS Atap biaya beban listrik perbulan 200 sampai dengan 300 ribu rupiah, penghematan rata-rata perbulan 100 ribu rupiah, jika diperhitungkan biaya investasi akan kembali dalam 1 tahun, rata-rata umur material dari PLTS berkisar 20 tahun. Penghematan biaya beban listrik berkisar Rp. 22.800.000,- dalam 20 tahun. Secara ekonomis nilai ini masih sangat kecil, tetapi sudah berhasil melakukan penghematan biaya beban listrik per bulan, dan meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan.

2.1 Landasan Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah pembangkit listrik yang mengubah energi surya / energi matahari menjadi energi listrik. Cahaya matahari merupakan salah satu bentuk energi dari sumber daya alam. Sumber daya alam matahari ini sudah banyak digunakan untuk memasok daya listrik di satelit komunikasi melalui sel surya. 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.

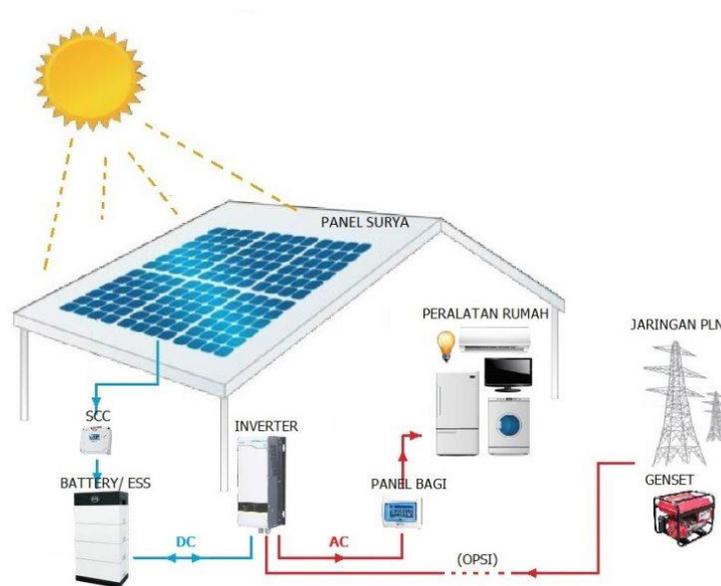
PLTS terdiri dari komponen-komponen sebagai berikut :

1. Modul Surya, yang berfungsi untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik arus searah.
2. Baterai, yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya.
3. *Solar Charge Controller*, yang berfungsi untuk mengatur pengisian baterai.
4. *Inverter*, yang berfungsi untuk mengubah listrik arus searah menjadi arus bolak-balik.

Fotovoltaik (biasanya disebut juga Sel surya) adalah piranti semikonduktor yang dapat merubah cahaya secara langsung menjadi arus listrik searah (DC) dengan menggunakan Kristal silikon (Si) yang tipis. Sebuah kristal silindris Silikon (Si) di peroleh dengan cara memanaskan Si tersebut dengan tekanan yang diatur sehingga Si tadi berubah menjadi penghantar. Bila kristal silindris itu dipotong setebal 0,3 mm, maka akan terbentuklah sel-sel Silikon yang tipis atau

sering disebut juga dengan sel Surya (*photovoltaic*). Sel-sel Silikon itu di pasang dengan posisi sejajar/seri dalam sebuah panel yang terbuat dari alumunium atau baja anti karat dan dilindungi oleh kaca atau plastik. Kemudian pada tiap-tiap sambungan sel diberi sambungan listrik. Bila sel-sel itu terkena sinar matahari maka pada sambungan itu akan mengalir arus listrik. Besarnya arus listrik/daya listrik itu tergantung pada jumlah energi cahaya yang mencapai silikon itu dan luas Permukaan sel surya.

Pada prinsipnya sel surya(*fotovoltaik*)merupakan suatu dioda semikonduktor yang bekerja dalam proses tak seimbang dan berdasarkan efek *fotovoltaik*. Dalam proses itu sel surya menghasilkan 0,5-1 volt tergantung dari intensitas cahaya matahari dan jenis zat semikonduktor yang dipakai. Sementara itu intensitas energi yang terkandung dalam sinar matahari yang sampai ke permukaan bumi besarnya sekitar 1000 Watt. Tapi karena daya guna konversi energi radiasi menjadi energi listrik berdasarkan efek *fotovoltaik* baru mencapai 25%, sehingga produksi listrikmaksimal yang dihasilkan sel surya baru mencapai 250 watt per m². Komponen utama PLTS adalah modul yang merupakan unit rakitan beberapa sel surya (*fotovoltaik*). Modul surya tersusun dari beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri dan paralel. Teknologi ini cukup canggih dan keuntungannya adalah harganya murah, bersih, mudah dipasang dan dioperasikan serta mudah dirawat. Sedangkan kendala utama dalam pengembangan energi surya adalah investasi awal yang besar dan harga per kWh listrik yang dibangkitkan relative masih tinggi, karena memerlukan subsistem yang terdiri atas baterai, unit pengatur dan inverter yang sesuai kebutuhan. Sistem PLTS dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.1 Sistem PLTS (Sumber: Sunergi.co.id)

PLTS dapat di manfaatkan untuk berbagai macam sistem catu daya yaitu:

- a. Sistem listrik penerangan rumah seperti: sistem sentralisasi, semi-sentralisasi, sistem desentralisasi, dan sistem hibrid.
- b. Sistem pompa air, seperti : pompa air minum, pompa irigasi.
- c. Sistem kesehatan, seperti ; penyimpanan vaksin, penyimpanan darah, penerangan puskesmas terpencil, dan lain-lain.
- d. Sistem komunikasi, seperti : televisi, *repeater*, radio, komunikasi kereta api.
- e. Sistem pemandu transportasi, seperti: radio sinyal bandara, lampu suar untuk navigasi dan persimpangan jalan kereta api.
- f. Sistem proteksi karat, seperti: proteksi katodik untuk jembatan, pipa, proteksi struktur baja.
- g. Lain-lain, seperti: lampu penerangan jalan, sistem pencatat gempa, lampu taman, air mancur, kalkulator, dan mobil surya.

Ada 5 keuntungan PLTS, diantaranya :

1. Energi yang digunakan adalah energi yang tersedia secara cuma-cuma.
2. Perawatannya mudah dan sederhana.
3. Tidak terdapat peralatan yang bergerak, sehingga tidak perlu penggantian suku cadang dan penyetelan pada sistem pelumasan.
4. Peralatan bekerja tanpa suara dan tidak berdampak negative terhadap lingkungan.
5. Dapat bekerja secara otomatis.

2.2.2 Sel Surya

Sel surya adalah peralatan yang mengkonversi energi matahari menjadi listrik arus searah (*Direct Current*). Bentuk sel surya yang paling umum didasarkan pada efek *photovoltaic* (PV). Elemen yang memiliki kemampuan listrik antara konduktor dan isolator disebut semikonduktor (Malviano,2003:35). Sel surya adalah perangkat yang mengikuti prinsip *fotovoltaik* dan memiliki kemampuan untuk mengubah sinarmatahari menjadi energi listrik. Keberadaan energi dari cahaya (foton) dengan panjang gelombang tertentu. Beberapa electron dalam materi yang berhubungan dengan energy ditemukan oleh Alexander Edmond Bacquarel (Belgia) pada tahun1894. Semikonduktor listrik dengan konduktivitas sedang dapat menyebabkan efek Pitavalensi.

Keadaan non-elektronik juga disebut celah pita, tetapi dua pita energi kontinu dan pita valensi dan pita konduksi rendah. Ukuran celah pita ini bervariasi dari bahan semikonduktor ke material, tetapi disarankan untuk tidak melebihi 3atau4 eV($1\text{Ev} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$).

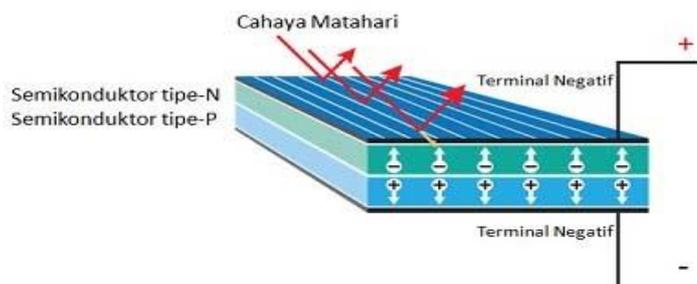


Gambar 2.2. Sel Surya (Sumber: Teknik elektronica.com)

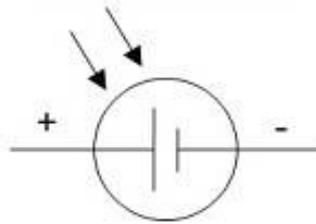
Maxwell menganjurkan teori radiasi elektro magnetik, dimana cahaya dianggap sebagai spektrum elektro magnetik dari berbagai panjang gelombang. Menurut Einstein, efek *fotovoltaik* menunjukkan bahwa cahaya adalah partikel diskrit atau energi.

Bila sel surya ditempatkan di bawah cahaya matahari maka foton-foton yang dipancarkan oleh matahari akan mengenai permukaan sel surya dan terus menembus ke sambungan *p-n* (*p-njunction*). Foton matahari menggerakkan elektron bebas dan lubang (*hole*) tersebut. Di daerah *p-n* inilah terjadi produksi listrik. Elektron dan *hole* selanjutnya mengalir melalui kontak-kontak elektris yang dibuat pada bagian atas dan bawah.

Berikut ini adalah Struktur Dasar, Bentuk dan Simbol Sel Surya (Solar Cell).



Gambar 2.3 Struktur Sel Surya (Sumber : Teknik elektronika.com)



Gambar 2.4. Simbol Sel Surya (Sumber: Teknik elektronika.com)

2.2.3 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 (+).

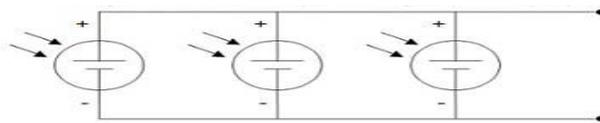
Daerah Semikonduktor dengan elektron bebas ini bersifat negatif dan bertindak sebagai Pendonor elektron, daerah semikonduktor ini disebut dengan Semikonduktor tipe N (*N-type*). Sedangkan daerah semikonduktor dengan Hole bersifat Positif dan bertindak sebagai Penerima (*Acceptor*) elektron yang dinamakan 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

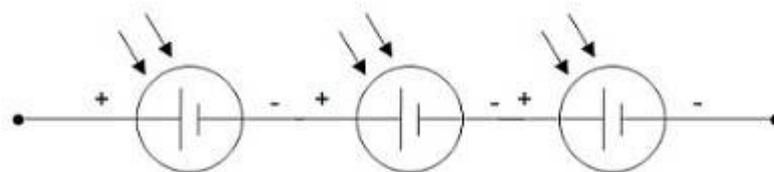
berupa lampu maupun perangkat listrik lainnya di Persimpangan Positif dan Negatif (*PN Junction*) ini, maka akan menimbulkan Arus Listrik.

2.2.4 Rangkaian Seri dan Paralel Sel Surya

Seperti Baterai, Sel Surya juga dapat dirangkai secara Seri maupun Paralel. Pada umumnya, setiap Sel Surya menghasilkan Tegangan sebesar 0,45 ~ 0,5V dan arus listrik sebesar 0,1A pada saat menerima sinar cahaya yang terang. Sama halnya dengan Baterai, Sel Surya yang dirangkai secara Seri akan meningkatkan Tegangan (*Voltage*) sedangkan Sel Surya yang dirangkai secara Paralel akan meningkatkan Arus (*Current*).



Gambar 2.5.Rangkaian Paralel Sel Surya (Solar Cell) – Meningkatkan Arus (Ampere) (Sumber: Teknik elektronika.com)



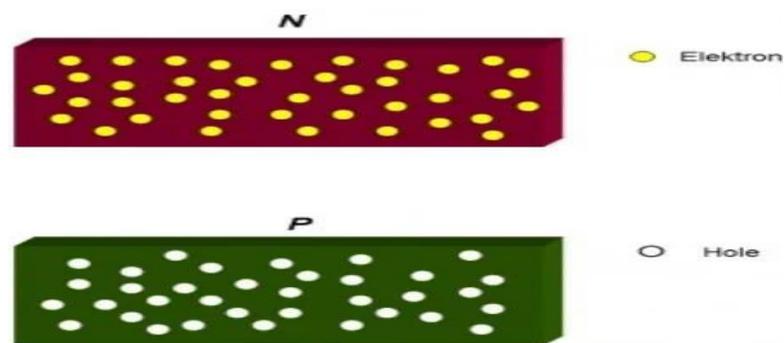
Gambar 2.6.Rangkaian Paralel Sel Surya (Solar Cell) – Meningkatkan Tegangan (Voltage) (Sumber: Teknik elektronika.com)

2.2.5 Proses Konversi *SolarCell*

Karena bahan yang membentuk selsurya adalah semikonduktor, proses mengubah sinar matahari menjadi listrik dimungkinkan. Lebih tepatnya, muatan berlebih adalah negative (N=negatif) karena terdiri dari dua semi konduktor dengan elektron berlebih. Ini disebut P (P = positif) karena

kelebihan positif karena ada terlalu banyak lubang di semikonduktor tipe-P. Awalnya, produksi kedua jenis semikonduktor ini bertujuan untuk meningkatkan konduktivitas listrik atau konduktivitas listrik dan kapasitas panas semi konduktor alami. Dalam semi konduktor alami ini, ada jumlah electron dan lubang yang sama. Kelebihan electron atau lubang dapat meningkatkan konduktivitas dan panas semikonduktor. Kombinasi dari dua semikonduktor ini, N dan P, membentuk koneksi dioda P-N atau P-N. Dalam istilah lain, ini disebut ikatan metal ugi dan dapat digambarkan sebagai berikut:

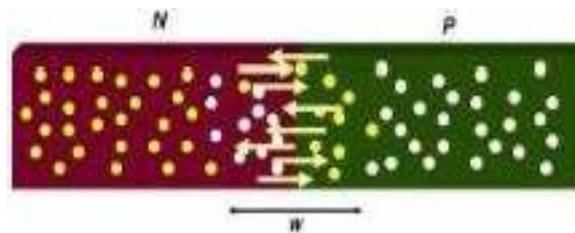
- a. Semi konduktor jenis P dan N sebelum disambung



Gambar2.7 semikonduktor jenis P dan N sebelum disambung.

(Sumber: Forgiftui.co.vu)

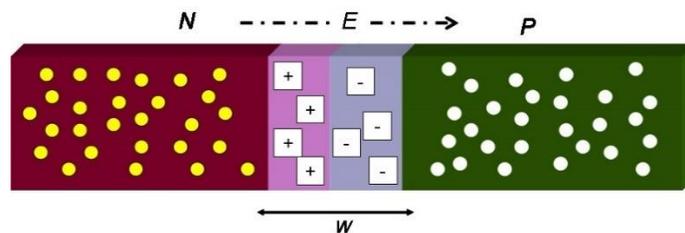
- b. Sesaat setelah dua jenis semi konduktor ini disambung. Terjadi perpindahan electron-elektron dari semikonduktor N menuju semikonduktor P, dan perpindahan *hole* dari semi konduktor P menuju N.



Gambar 2.8 Perpindahan Electron Dan Hole Pada Semikonduktor

(Sumber: Forgiftui.co.vu)

- c. Electron dari semikonduktor N bersatu dengan *hole* pada semikonduktor P yang mengakibatkan jumlah *hole* pada semikonduktor P akan berkurang. Daerah ini menjadi lebih bermuatan negatif. Pada saat yang sama, *hole* dari semikonduktor P bersatu dengan electron yang ada pada semikonduktor N yang mengakibatkan jumlah *electron* di daerah ini berkurang. Daerah ini akhirnya lebih bermuatan positif.

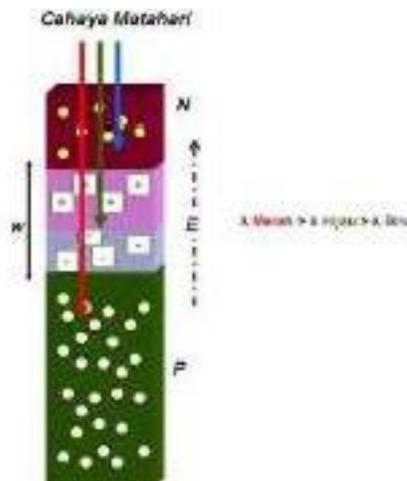


Gambar 2.9 Hasil Muatan Positif Dan Negative Pada Semikonduktor

(Sumber: Forgiftui.co.vu)

- d. Daerah positif dan negative ini disebut dengan daerah defleksi (*depletionregion*) ditandai dengan huruf W. Baik electron maupun *hole* yang ada pada daerah deplesi disebut dengan pembawa muatan minoritas (*minoritychargecarries*) karena keberadaannya di jenis semikonduktor yang berbeda. Dikarenakan adanya perbedaan muatan positif dan negative di daerah deplesi, maka timbul dengan sendirinya medan listrik E dari sisi positif dan negative, yang mencoba menarik kembali *hole* ke semikonduktor P dan *electron* ke semikonduktor N. Medan listrik ini cenderung berlawanan dengan perpindahan *hole* maupun *electron* pada awal terjadinya daerah deplesi.
- e. Kehadiran medan listrik membuat koneksi pn menjadi titik setimbang. Ini adalah kasus ketika jumlah lubang yang bergerak dari semikonduktor P ke

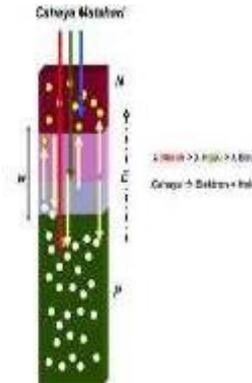
N dikompensasi dengan jumlah lubang yang ditarik kembali ke semikonduktor P oleh medan listrik dan jumlah elektron yang bergerak dari semikonduktor N ke P dikompensasi oleh aliran elektron ke semikonduktor N karena menarik medan listrik E. Dalam koneksi pn ini, proses mengubah sinar matahari menjadi listrik. Untuk keperluan sel surya, semikonduktor N berada dilapisan atas sambungan P yang menghadap kedatangan sinar matahari dan jauh lebih tipis dari semikonduktor P, sehingga sinar matahari yang jatuh di permukaan sel surya terus diserap dan lapisan penipisan adalah Dan ke dalam wilayah semikonduktor P.



Gambar 2.10 Sambungan Semikonduktor Terkena Cahaya Matahari

(Sumber: Forgiftui.co.vu)

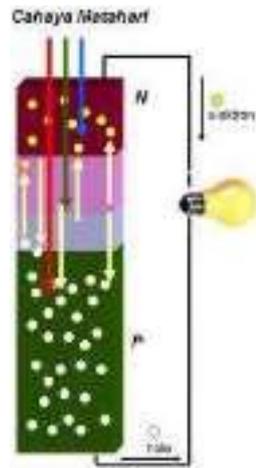
Ketika sinar matahari mencapai persimpangan semikonduktor, elektron mendapatkan energi dari sinar matahari dan dipancarkan dari semikonduktor, lapisan penipisan, dan wilayah semikonduktor. Di wilayah yang ditinggalkan oleh elektron, meskipun elektron ini meninggalkan lubang, itu disebut foto generasi lubang elektron, yaitu pembentukan pasangan lubang elektron oleh sinar matahari.



Gambar 2.11 Sambungan Semikonduktor Ditembus Cahaya Matahari

(Sumber: Forgiftui.co.vu)

Sinar matahari dengan panjang gelombang berbeda (ditunjukkan oleh simbol " λ " yang digambarkan sebagian di atas) membuat foto yang dihasilkan pn- terhubung berdasarkan pada pn-koneksiyang berbeda. Spektrum merah sinar matahari dengan panjang gelombang yang lebih panjang dapat ditransmisikan melalui daerah penipisan hingga diserap oleh semikonduktor p dan akhirnya difoto generasi disana. Spektrum biru yang jauh lebih pendek hanya diserap dalam semi konduktor N. Lebih lanjut, karena ada medan listrik E dalam koneksi P-N, elektron fotogenerasitertarik ke semikonduktor dan lubang tertarik ke arah semikonduktor P. Ketika serangkaian kabel dihubungkan ke bagian semikonduktor, elektron mengalir melalui kabel. Jika lampu kecil terhubung ke kabel, lampu akan memiliki arus dan akan menyala. Dimana arus ini dihasilkan oleh pergerakan elektron.



Gambar 2.12 Kabel Dari Semikonduktor Dihubungkan Kelampu

(Sumber: Forgiftui.co.vu)

2.2.6 Kristal Sel Surya

Sel-sel surya dapat dibuat dari berbagai macam bahan semikonduktor dengan jenis kristal yang berbeda-beda antara lain:

- Silikon (Si) – termasuk diantaranya Si monokristalin, Si polikristalin, dan Si amorph.
- Lapisan tipis polikristalin – diantaranya adalah, copper indium diselenida (CIS), cadmium tellurida (CdTe), dan lapisan tipis silikon.
- Lapisan tipis (*thin film*) monokristalin – termasuk diantaranya, bahan berefisiensitinggi seperti gallium arsenida (GaAs).

A. Jenis-Jenis Kristal Sel Surya

Kristal silikon dapat dibuat dengan tingkat kemurnian yang tinggi. Semakin tinggi kadar kemurnian silikon yang dipakai untuk pembuatan sel surya maka semakin baik pula efisiensinya dalam mengubah energi matahari menjadi listrik. Adapun jenis sel surya dengan bahan silikon yaitu:

1. Sel Silikon Monokristalin Sel monokristalin yang berada dipasaran memiliki efisiensi sebesar 15%. Silikon monokristalin memiliki kemurnian yang sangat tinggi dan struktur kristal yang hampir sempurna.
2. Sel Silikon Polikristalin Sel polikristalin ini kadang disebut juga sel multikristalin. Sel polikristalin memiliki efisiensi yang lebih rendah dengan rata-rata sekitar 12%.
3. Silikon Amorph Sel-sel silikon amorph tersusun dari atom-atom silikon dalam sebuah lapisan homogen yang tipis dan bukan berupa kristal namun dapat menyerap sinar matahari dengan baik. Di samping itu, silikon amorph juga dikenal dengan sebutan teknologi PV lapisan tipis atau "*thin film*". Silikon amorph memiliki efisiensi yang lebih rendah daripada sel-sel kristalin lainnya dan umumnya sekitar 6%.
4. Teknologi Lapisan Tipis (*Thin Film*) Pengembangan teknologi bahan sel surya thin film adalah *Cadmium Tellurida (CdTe)*, *Cadmium sulfida*, *Copper Indium Diselenida (CIS)* dan *Gallium Arsenida*. Sel-sel *thin film* sangat fleksibel, bisa dipasang pada berbagai bentuk permukaan baik yang rata maupun melengkung. Oleh karena itu *thin film* sangat fleksibel untuk berbagai macam aplikasi.

2.2.7 Modul Surya

Modul Surya adalah kumpulan sel surya yang disusun menjadi satu rangkaian listrik. Susunan sel surya di dalam modul surya dapat berbentuk rangkaian seri maupun rangkaian paralel. Modul surya merupakan bagian dari teknologi *fotovoltaik*. 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. Pada tiap panel surya, daya listrik yang dihasilkan oleh modul surya berkisar antara 10–300 Watt.

A. Cara Kerja Modul 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.

Proses produksi modul surya dilakukan di industri tenaga surya dengan menggunakan teknologi canggih yang menyediakan rantai pasok berkelanjutan. Jenis teknologi yang digunakan meliputi ponsel cerdas, Internet untuk Segala, dan teknik otomasi. Penggunaan teknologi tersebut memberikan penambahan nilai pada produk dan pengurangan limbah hasil manufaktur.

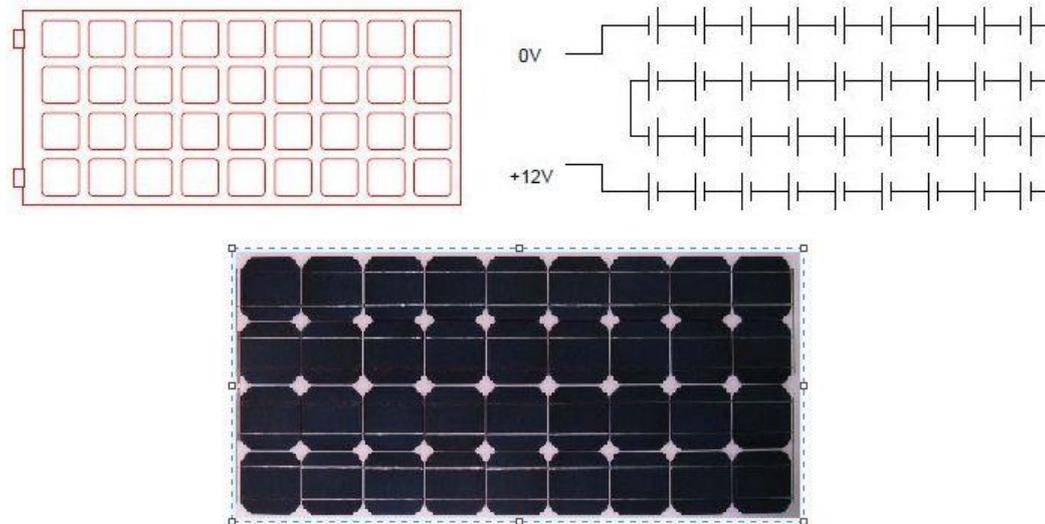


Gambar 2.13. Modul Surya (Sumber: Teknik elektronica.com)

B. Konstruksi Modul Surya

Satu modul surya umumnya memiliki sebanyak 28–32 sel surya. Susunan sel surya ini membentuk rangkaian seri. Tegangan listrik yang dihasilkan merupakan tegangan listrik dengan jenis arus searah. Nilai tegangan listrik yang menjadi standar pada satu modul surya adalah 12 Volt pada kondisi penyinaran standar. Kondisi standar ini ditentukan oleh nilai massa udara, yaitu 1,5. Pada pembangkit listrik tenaga surya, modul surya disusun menjadi rangkaian gabungan antara seri dan paralel. Pembuatan rangkaian gabungan ini bertujuan untuk mengatur daya listrik dan tegangan listrik yang dihasilkan oleh modul surya, sehingga sesuai dengan kebutuhan pencatu daya dan tegangan kerja pada beban listrik.

Nilai arus listrik yang sesuai dengan kebutuhan beban listrik dapat diatur melalui hubungan rangkaian paralel. Masing-masing kutub yang memiliki sifat yang sama dihubungkan satu sama lain, sehingga arus listrik yang lebih besar dapat diperoleh. Sedangkan nilai tegangan listrik yang sesuai dengan kebutuhan dapat diperoleh melalui hubungan rangkaian seri. Kutub positif dan kutub negatif dihubungkan pada beban listrik. Kondisi ini menghasilkan nilai arus listrik yang sama pada tiap beban listrik, tetapi nilai tegangan listrik terbagi di antara beban-beban listrik yang terpasang. Sementara itu, sistem pembangkit listrik tenaga surya umumnya menggunakan rangkaian seri-paralel sehingga nilai tegangan listrik dan nilai arus listrik dapat ditetapkan secara bersama-sama.



Gambar 2.14. Konstruksi Modul Surya (Sumber: Sunergi.co.id)

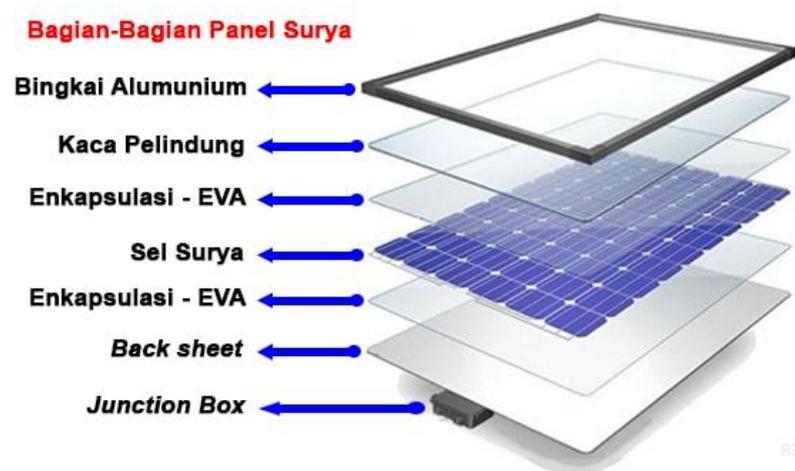
2.2.8 Panel Surya

Panel surya adalah sebuah alat yang terdiri dari sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor untuk mengubah energi surya menjadi energi listrik. Prinsip kerjanya didasari oleh pertemuan semikonduktor jenis P dan semikonduktor jenis N. Panel surya tersusun dari modul surya yang dirangkai secara seri maupun paralel sesuai dengan kebutuhan daya listrik tertentu. Pemasangan panel surya pada suatu bangunan komersial atau pada bangunan perusahaan ditentukan oleh kebijakan mengenai penggunaan instalasi listrik yang memanfaatkan energi surya. Panel surya hanya menghasilkan arus listrik berjenis arus searah. Pemenuhan pencatu daya bagi pemakai energi listrik memerlukan konverter dari arus searah menjadi arus bolak-balik. Penyediaan ruang bagi panel surya merupakan salah satu pertimbangan penting bagi optimalisasi sistem tenaga listrik dengan energi dasar berupa energi surya. Pembangkit listrik tenaga surya merupakan penerapan langsung dari kegiatan transformasi energi surya yang

dilakukan oleh panel surya. Panel surya rata-rata memiliki usia pakai selama 30 tahun sebelum mengalami kerusakan.

A. Bahan Modul Panel Surya

Modul panel surya umumnya tersusun dari bahan silikon. Kandungan sel silikon mempunyai struktur atom yang tunggal, ganda atau tidak berbentuk. Struktur atom yang tunggal disebut monokristalin, sedangkan yang ganda disebut polikristalin. Sementara itu, silikon yang tidak berbentuk disebut amorfous dan hanya ada pada silikon dengan lapisan yang tipis. Selain silikon, beberapa jenis modul panel surya terbuat dari bahan berupa kadmium telurida atau tembaga indium galium selenida. Sementara itu, beberapa jenis modul panel surya menggabungkan ketiga jenis bahan tersebut.

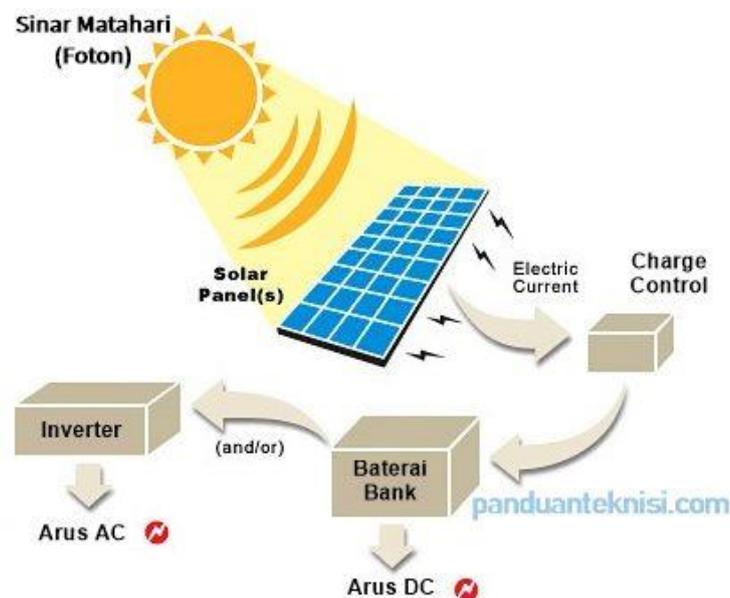


Gambar 2.15. Bagian-bagian Panel Surya (Sumber: Sunergi.co.id)

Pembuatan panel surya menggunakan laser diode yang dipompa untuk penulisan interkoneksi rangkaian listrik dan pola isolasi. Panjang gelombang yang diperlukan untuk penulisan yaitu 1.064 nanometer.

B. Cara Kerja Panel Surya

Panel surya mulai bekerja berdasarkan prinsip gaya gerak listrik yang terjadi pada sel surya. Gaya gerak listrik ini diawali ketika foton dari sinar matahari mengalami tumbukan dengan panel surya. Tumbukan ini membuat foton diserap oleh material semikonduktor yang terdapat pada panel surya. Material ini salah satunya ialah silikon. Tumbukan membuat elektron yang merupakan muatan listrik negatif mengalami pelepasan dari atom. Elektron yang terlepas ini kemudian mengalir melalui material semikonduktor sehingga terbentuklah arus listrik. Di sisi lain, muatan listrik positif yang disebut sebagai "lubang" mengalir dengan arah yang berlawanan dengan muatan listrik negatif. Sumber listrik dengan jenis arus searah dapat dihasilkan melalui penggabungan beberapa panel surya. Panel-panel surya ini memperoleh sumber energi dari energi surya.



Gambar 2.16 Cara Kerja Panel Surya (Sumber: Sunergi.co.id)

C. Karakteristik Pada Panel Surya

Beberapa karakteristik penting dari fotovoltaik termasuk tegangan rangkaianterbuka (V_{oc}), arus hubung singkat (I_{sc}), efek perubahan intensitas matahari, efek perubahan suhu pada sel surya (T_{sc}), dan dalam *fotovoltaik*. Ada karakteristik tegangan-arus (karakteristik VI).

1. Tegangan *Open Circuit* (V_{oc})

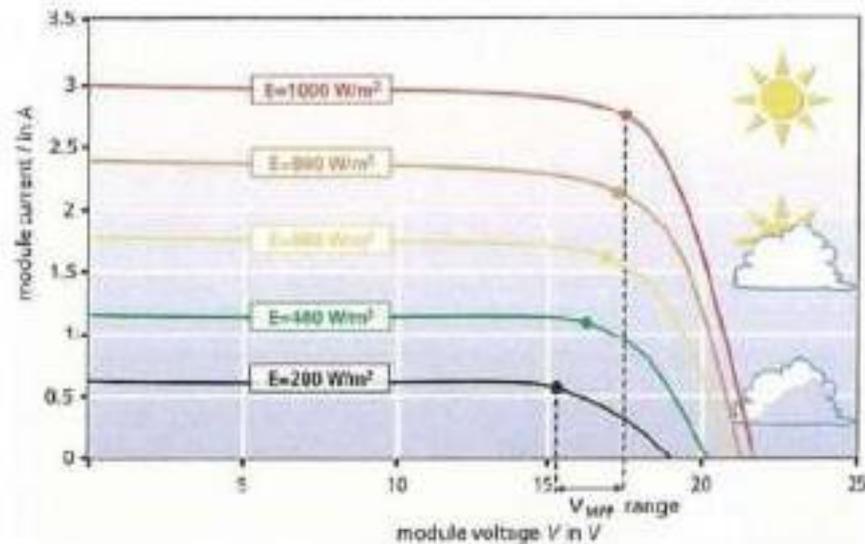
V_{oc} adalah tegangan yang dibaca ketika tidak ada arus yang mengalir, yaitu, tegangan maksimum sel surya yang terjadi ketika arus hubung singkat adalah nol. Cara untuk mencapai tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) adalah dengan menghubungkan kutub positif dan negatif dari modul PV multimeter. Ini memungkinkan Anda memeriksa nilai tegangan rangkaian terbuka sel surya multimeter.

2. Arus *ShortCircuit* (I_{sc})

I_{sc} adalah arus maksimum yang dapat dihasilkan oleh modul sel surya. Nilai I_{sc} diperoleh dengan hubungan pendek elektroda positif dengan elektroda negatif dalam modul PV dan kemudian membaca nilai I_{sc} sebagai pembaca saat ini dengan multimeter untuk mendapatkan nilai pengukuran arus maksimum yang diperoleh dengan sel surya.

3. Efek Perubahan Intensitas Cahaya Matahari.

Karena jumlah energy matahari yang diperoleh oleh sel surya (*fotovoltaik*) berkurang atau intensitas cahaya berkurang, demikian juga besarnya tegangan dan arus yang dihasilkan. Penurunan tegangan relative lebih kecil dari penurunan arus.



Gambar2.17 KurvaI-V Terhadap Tingkat *Irradiance* dan Temperatur yang Tetap
(Sumber: Sunergi.co.id)

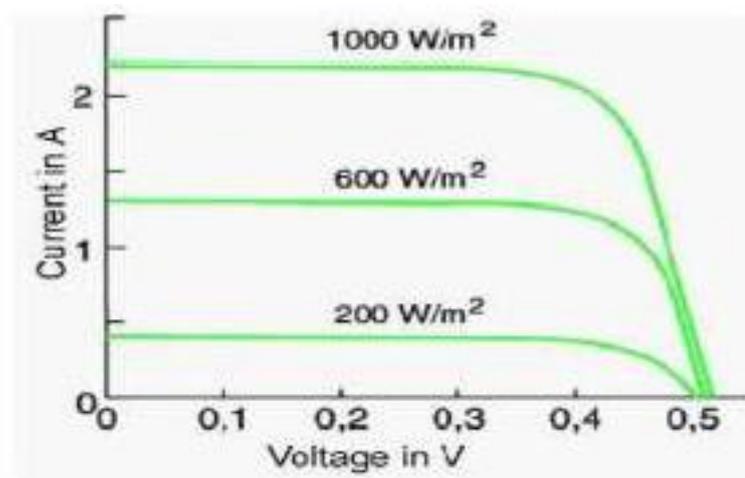
4. Efek Perubahan Temperatur Pada *Photovoltaic* (Tsc)

Suhu juga memengaruhi kinerja sel dan efisiensi fotovoltaik, yang menghasilkan lebih banyak daya ketika sel surya dingin. Secara umum, ketika sel terpapar $1 \text{ kW} / \text{m}^2$, suhu sel sekitar $30 \text{ }^\circ\text{C}$ lebih tinggi dari udara sekitar. Semakin tinggi suhu sel surya, semakin rendah tegangan sekitar $0,0023 \text{ V}/^\circ\text{C}$ untuk teknologi kristal silikon dan sekitar $0,0028 \text{ V}/^\circ\text{C}$ untuk teknologi film tipis. Tenaga listrik juga berkurang hingga $0,5\%$ dalam teknologikristal silikon dan menjadi sekitar $0,3 \text{ }^\circ\text{C}$ dalam teknologi film tipis. Karakteristik perubahan suhu sel surya.

5. Karakteristik Tegangan-Arus Pada *Photovoltaic* (V-ICharacteristic)

Penggunaan tegangan dari tenaga surya tergantung pada bahan semikonduktor yang digunakan. Saat menggunakan bahan silikon, rentang tegangan yang dihasilkan oleh setiap sel surya adalah $0,5 \text{ V}$. Tegangan yang dihasilkan oleh

fotovoltaik tergantung pada radiasi matahari. Arus listrik yang dihasilkan dari pembangkit tenaga surya tergantung pada kecerahan (cahaya kuat) matahari, seperti ketika cuaca cerah atau berawan. Sebagai contoh, Kristal silikon fotovoltaik tunggal dengan luas permukaan 100 cm^2 menghasilkan sekitar 1,5 Watt dengan tegangan DC sekitar 0,5 Volts dan arus sekitar 2 Amps (kekuatan sekitar 1000 W/m^2). Karakteristik perubahan arus tegangan dalam pembangkit listrik *fotovoltaik*.



Gambar 2.18 Karakteristik Tegangan-Arus pada Silikon *Photovoltaic*

(Sumber: Teknik elektronika.com)

2.2.9 Array

Jika sebuah aplikasi membutuhkan daya dalam jumlah yang lebih tinggi dari pada yang dapat disediakan oleh satu panel saja maka diperlukan sistem-sistem yang lebih besar untuk hal tersebut. Sistem ini dibuat dengan menghubungkan beberapa buah panel. Penambahan jumlah panel akan menyebabkan konfigurasi sistem menjadi lebih kompleks. Gabungan beberapa panel surya disebut array.

2.2.10 Bateray

Penyimpanan baterai menggunakan cara elektro-kimia adalah bentuk energi semi-teratur. Listrik yang dihasilkan dari penyimpanan baterai mudah diubah menjadi panas atau cahaya, tetapi proses konversi dalam baterai relatif tidak efisien. Jenis baterai dikategorikan sebagai primer dan sekunder. Baterai primer tidak dapat dibalik, baterai tidak dapat diisi ulang dan dibuang setelah energi dikonsumsi. Sel alkali yang umum adalah contoh dari jenis ini. Baterai sekunder dapat diisi ulang. Baterai timbal-asam adalah jenis yang paling umum dan digunakan dalam sistem mobil dan cadangan. Efisiensi baterai sekunder biasanya 70 hingga 80% untuk siklus pulang-pergi (pengisian dan pengosongan). Energi hilang dalam bentuk panas untuk siklus pengisian dan pengosongan. Jenis umum lainnya dari baterai sekunder termasuk *nikel-kadmium (NiCad)*, *nikellogam hidrida (NiMh)*, *lithium-ion*, *seng-udara*, dan *polimer lithium*.

Baterai adalah suatu proses kimia listrik, dimana pada saat pengisian energi listrik diubah menjadi kimia dan saat pengeluaran/*discharge energy* kimia diubah menjadi energi listrik. Baterai menghasilkan listrik melalui proses kimia. Baterai atau akkumulator adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang dapat berkebalikan (*reversible*) dengan efisiensi yang tinggi. Yang dimaksud dengan reaksi elektrokimia *reversible* adalah didalam baterai dapat berlangsung proses perubahan kimia menjadi listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi kimia (proses pengisian) dengan cara proses regenerasi dari elektroda – elektroda yang dipakai yaitu, dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas yang

berlawanan didalam sel, baterai terdiri dari dua jenis yaitu, baetrai primer dan baterai sekunder (Hamid et al., 2016).



Gambar.2.19. Baterai (Sumber: Teknik elektronika.com)

A. Jenis-jenis Baterai

Ada beberapa jenis baterai, yaitu :

1. Baterai Asam

Baterai asam yang bahan elektrolitnya (*sulfuric acid* = H_2SO_4). Didalam baterai asam, elektroda terdiri dari plat timah peroksida PbO_2 sebagai anoda (kutub positif) dan timah murni katoda (kutub negatif).

2. Baterai Alkali

Baterai alkali bahan elektrolitnya adalah larutan alkali yang terdiri dari :

- a. *Nickel iron alkaline battery Ni-Fe Battery*
- b. *Nickel cadmium alkaline battery Ni Cd*

Baterai pada umumnya yang paling banyak digunakan adalah baterai alkali. Besarnya kapasitas baterai tergantung dari banyaknya bahan aktif pada plat positif maupun plat negatif yang bereaksi, dipengaruhi oleh jumlah plat tiap tiap sel, Ukuran dan tebal plat, kualitas elektrolit serta umur baterai. Kapasitas energi suatu baterai dinyatakan dalam ampere jam (Ah), misalkan kapasitas 100 Ah 12

volt artinya secara ideal arus yang dapat dikeluarkan sebesar 5 ampere selama 20 jam pemakaian. Besar kecilnya tegangan baterai ditentukan oleh banyak sedikitnya sel baterai yang ada didalamnya. Sekalipun demikian, arus hanya akan mengalir bila ada konduktor dan beban yang dihubungkan ke baterai. Kapasitas baterai menunjukkan kemampuan baterai untuk mengeluarkan arus (*discharging*) selama waktu tertentu.

Pada saat baterai diisi (*charging*), terjadilah penimbunan muatan listrik. Jumlah maksimum muatan listrik yang dapat ditampung oleh baterai disebut kapasitas baterai dan dinyatakan dalam bentuk ampere dam (*Ampere hour*) (Hamid et al., 2016). Kapasitas baterai dapat dinyatakan dengan persamaan berikut ini :

$$N \text{ (Ah)} = I \text{ (ampere)} \times t \text{ (hours)}$$

Dimana :

N = kapasitas baterai aki

I = kuat arus (*ampere*)

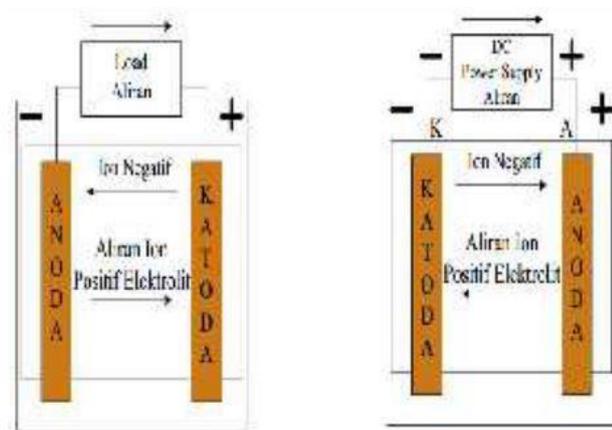
t = waktu (*jam/sekon*)

B. Konstruksi Baterai

Komponen – komponen baterai terdiri atas :

1. Kotak baterai
2. Elektrolit baterai
3. Sumbat Ventilasi

1. Proses pengosongan pada sel berlangsung menurut gambar 2.30. jika sel dihubungkan dengan beban maka, elektron mengalir dari anoda melalui beban katoda, kemudian ion-ion negatif mengalir ke anoda dan ion-ion positif akan mengalir ke katoda.
2. Proses pengisian menurut gambar 2.30 dibawah adalah bila sel yang dihubungkan dengan *power supply* maka elektroda positif menjadi anoda dan elektroda negatif menjadi katoda dan proses kimia yang terjadi adalah sebagai berikut :



Gambar 2.21. Proses pengosongan dan pengisian baterai

(Sumber: Teknik elektronika.com)

- a. Aliran *electron* menjadi terbalik, mengalir dari anoda melalui *power supply* ke katoda.
- b. Ion – ion negatif mengalir dari katoda ke anoda.
- c. Ion-ion positif mengalir dari anoda ke katoda jadi, reaksi kimia pada saat pengisian adalah kebalikan dari saat pengosongan.

2.2.11 Solar Charge Controller

Solar Charge Controller adalah peralatan elektronik yang mengatur aliran listrik dari modul surya ke baterai dan beban. *Solar Charge Controller* menjaga agar baterai tetap terisi penuh tanpa berlebihan (*overcharge*). Ketika beban sedang menarik daya, *Solar Charge Controller* memungkinkan arus listrik mengalir dari modul ke baterai. Ketika pengontrol menyensor bahwa baterai telah terisi penuh maka *Solar Charge Controller* akan menghentikan aliran arus dari modul. *Solar Charge Controller* juga menyensor bilamana terlalu banyak energi listrik ditarik beban sehingga baterai hampir kosong. Ketika hal itu terjadi, *Solar Charge Controller* akan menghentikan aliran listrik sampai muatan di dalam baterai terisi kembali.

Dalam penggunaan panel surya dengan sistem *off-grid*, terdapat sebuah alat yang penting untuk diperhatikan. Alat tersebut adalah SCC (*Solar Charge Controller*), terpasang di antara panel surya dan baterai. SCC adalah sebuah alat elektronik yang berguna mengatur arus listrik yang masuk ke dalam baterai.



Gambar 2.22. *Solar Charge Controller* (Sumber: Teknik elektronika.com)

A. Fungsi *Solar Charge Controller*

Adapun fungsi *solar charge controller* sebagai berikut:

1. Menyesuaikan arus listrik yang masuk ke dalam baterai, supaya baterai tidak mengalami *overcharge* atau kelebihan pengisian yang berakibat baterai bisa

cepat rusak. Dengan begitu, baterai selalu dalam keadaan kondisi penuh, tetapi tanpa harus *overcharge*.

2. Menghindari baterai *Over Discharge* atau baterai dalam keadaan lemah. Artinya, apabila baterai dalam kondisi lemah atau tegangannya turun terlalu rendah, SCC akan menghentikan aliran ke beban. Ini penting, karena apabila baterai dalam kondisi tegangan sangat rendah, baterai akan cepat rusak.
3. Menghentikan arus terbalik ketika tidak ada sumber energi matahari yang memadai. Ketika mendung yang sangat gelap atau pada malam hari, baterai tidak bisa di *charge*. Itu memungkinkan terjadinya aliran listrik dari baterai ke solar panel. Dengan adanya SCC, hal itu tidak akan terjadi.

B. Jenis-jenis *Solar Charge Controller*

1. MPPT (*Maximum Power Point Tracking*)

Kelebihan:

- a. Memiliki efisiensi yang tinggi.
- b. Cocok digunakan untuk pemasangan panel surya dengan skala besar.
- c. Ketika baterai dalam keadaan lemah, kinerjanya malah lebih baik.
- d. Dapat mengambil mengambil daya maksimum dari PV.

2. PWM (*Pulse Width Modulation*)

Kelebihan:

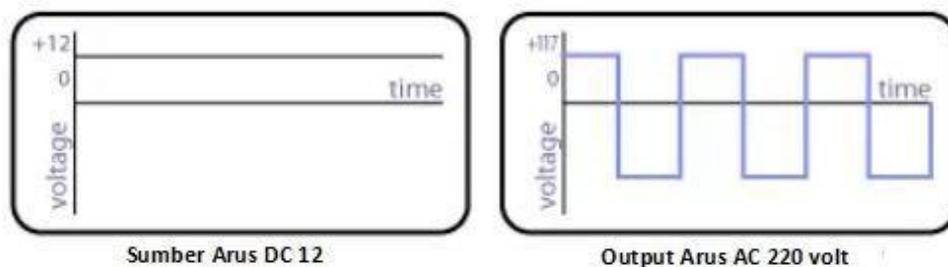
- a. Memiliki harga yang lebih ekonomis.
- b. Cocok digunakan untuk pemasangan panel surya dengan skala kecil.
- c. Ketika baterai dalam keadaan penuh, kinerjanya malah lebih baik.
- d. Lebih awat karena PWM menggunakan komponen yang lebih sedikit.

2.2.12 Inverter

Inverter adalah perangkat elektronika yang dipergunakan untuk mengubah tegangan arus searah (*Direct Current*) menjadi tegangan bolak-balik (*Alternating Current*). *Output* suatu inverter dapat berupa tegangan AC dengan bentuk gelombang sinus (*sine wave*), gelombang kotak (*square wave*) dan sinus modifikasi (*sine wave modified*). Sumber tegangan input inverter dapat menggunakan baterai, tenaga surya, atau sumber DC yang lain.

Inverter listrik merupakan konverter daya listrik yang mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Tegangan masukan, tegangan keluaran, dan frekuensi tergantung pada desain yang dirancang. Dalam dunia kelistrikan *inverter* memang sangat populer digunakan dalam berbagai keperluan. *Inverter* adalah suatu alat yang dapat mengubah tegangan searah menjadi tegangan bolak-balik dengan frekuensi dan tingkat tegangan yang dapat diatur. (Zondra et al., 2017)

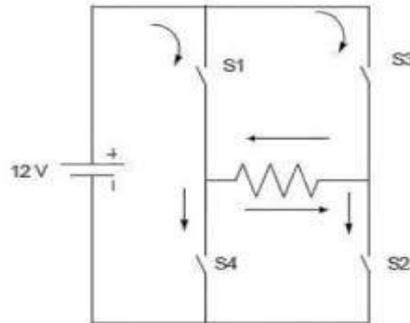
Inverter digunakan untuk mengubah tegangan input DC menjadi tegangan AC. Keluaran *inverter* dapat berupa tegangan yang dapat diatur dan tegangan yang tetap. Sumber tegangan input inverter dapat menggunakan baterai, *cell* bahan bakar, tenaga surya, atau sumber tegangan DC yang lain. (Abidin, 2014)



Gambar 2.23. Gelombang DC dan AC (Sumber: Etsworlds.id)

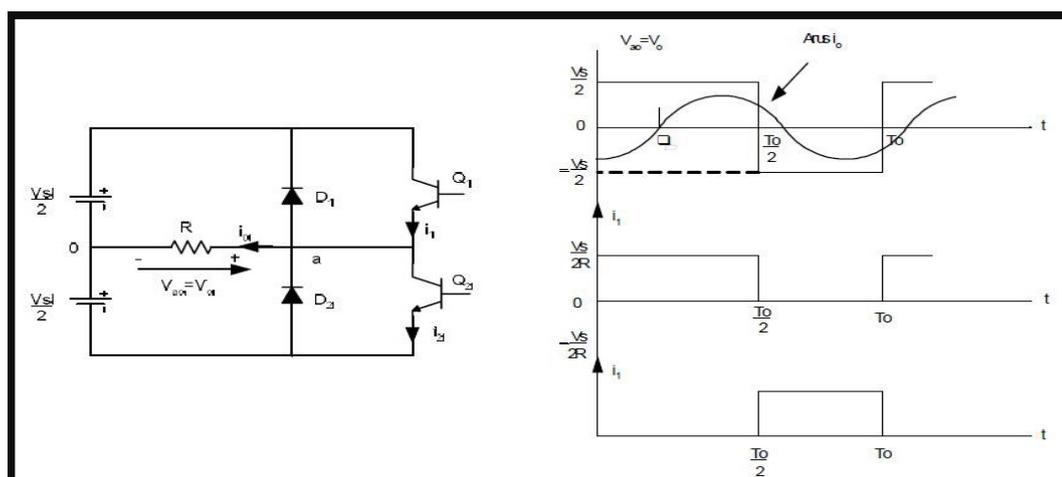
A. Prinsip Kerja Inverter

Prinsip kerja inverter dapat dilihat pada gambar 2.20 yang merupakan ilustrasi dari prinsip kerja inverter.



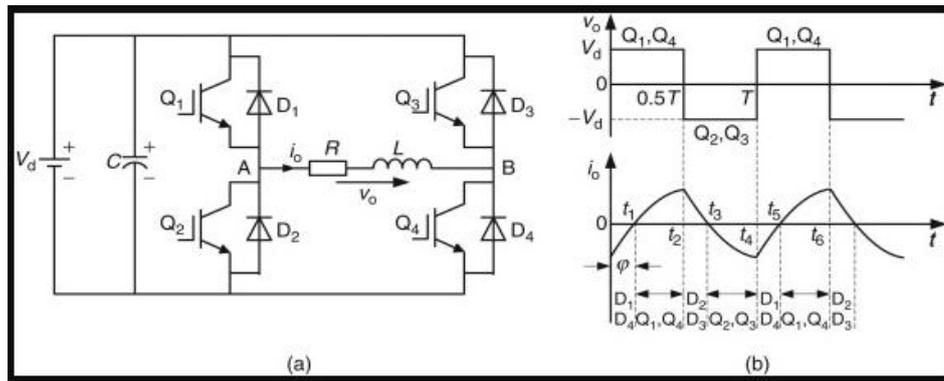
Gambar 2.24. Prinsip Kerja Inverter (Teknisi,2017)

Prinsip kerja inverter dapat dijelaskan dengan menggunakan 4 sakelar seperti ditunjukkan pada Gambar di atas. Bila sakelar S1 dan S2 dalam kondisi on maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kiri ke kanan, jika yang hidup adalah sakelar S3 dan S4 maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kanan ke kiri.



Gambar 2.25. Bentuk Gelombang dari Inverter Setengah Gelombang

(Sumber: Etsworlds.id)



Gambar 2.26. Bentuk Gelombang dari Inverter Gelombang Penuh

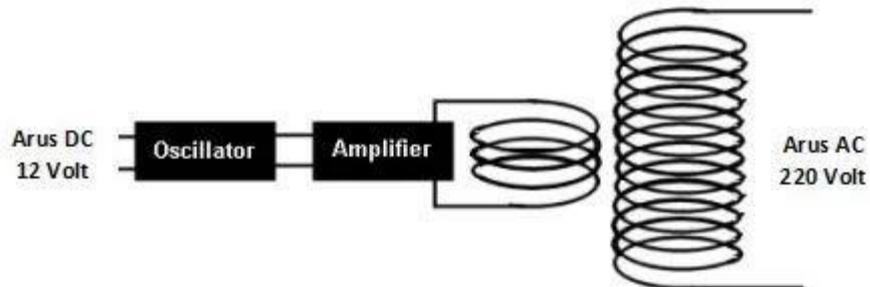
(Sumber: Etsworlds.id)

Inverter gelombang penuh ditunjukkan pada gambar. Ketika transistor Q1 dan Q2 bekerja (ON), tegangan V_s akan mengalir ke beban tetapi Q3 dan Q4 tidak bekerja (OFF). Selanjutnya, transistor Q3 dan Q4 bekerja (ON) sedangkan Q1 dan Q2 tidak bekerja (OFF), maka pada beban akan timbul tegangan $-V_s$.

Jika sebuah baterai yang salah satu kutubnya dihubungkan ke sebuah *transformator* pada kaki CT (*Center Top*) secara tepat dan terus menerus saklar pada gambar diatas dipindahkan posisinya. Maka pada *coil sekunder transformator* akan muncul arus listrik berupa arus bolak-balik (AC). Secara teori tegangan pada sekunder bisa diatur sedemikian rupa hanya dengan menambah jumlah lilitan kumparan *transformator* saja yang akan melipat gandakan tegangan yang dihasilkan.

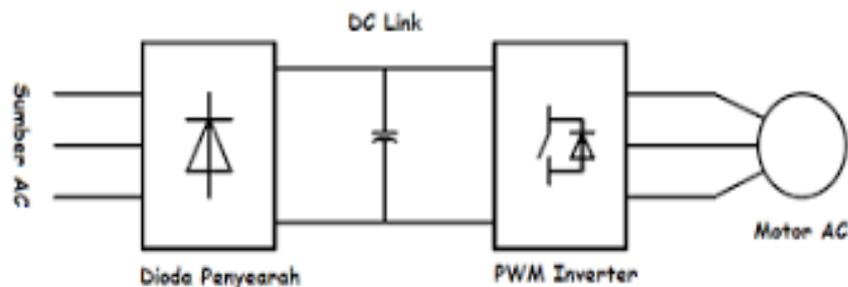
Hal ini bisa terjadi karena adanya induksi yang dihasilkan dari baterai. Inverter dapat menimbulkan efek seperti saklar yang dipindahkan bolak balik dengan cara menggunakan sebuah rangkaian *astable multivibrator* dari sepasang

transistor atau lebih baik lagi dengan menggunakan mosfet yang tentunya lebih efisien dalam hal daya. Ilustrasinya dapat dilihat pada gambar 2.23 berikut :



Gambar 2.27. Cara kerja saklar pada inverter (Sumber: Etsworlds.id)

Inverter terdiri dari rangkaian utama yang dibentuk oleh rangkaian penyearah apakah dikendalikan atau tidak untuk mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC) dan menghilangkan riak yang terdapat pada arus searah. Penyearah berfungsi sebagai tegangan pengisi daya pada baterai / akumulator ketika sumber tegangan *inverter* dari baterai telah habis. Untuk mencegah kerusakan pada baterai karena pengisian daya yang berlebihan, maka Anda harus menambahkan sirkuit penyearah sirkuit otomatis yang akan memutuskan proses pengisian ketika tegangan pada baterai penuh. *Inverter* grafik umumnya memiliki bentuk seperti pada Gambar 2.24.

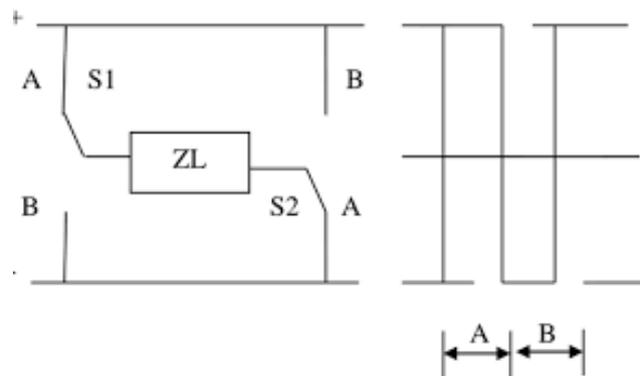


Gambar 2.38. Bagian utama *Inverter* (Sumber: Etsworlds.id)

Sebuah *inverter* dikatakan bersifat ideal apabila tegangan DC yang masuk bebas dari ripple serta tegangan yang keluar dari inverter berbentuk gelombang sinusoidal murni.(Tauhid, n.d.)

B. Struktur *Inverter*

Struktur *inverter* menunjukkan bahwa *inverter* dengan transistor yang menghasilkan arus bolak-balik (AC) dengan frekuensi sumber komersial, (50 Hz atau 60 Hz). Bagian pertama dari konverter sirkuit (yang mengubah sumber AC komersial menjadi sumber DC dan menghilangkan riak pada output DC. Sirkuit kedua adalah *inverter* yang mengubah arus searah menjadi arus bolak balik tiga fase dengan frekuensi beragam (dapat disesuaikan) , sirkuit ini disebut sirkuit primer, bagian ketiga adalah sirkuit kontrol yang berfungsi sebagai pengontrol dari sirkuit utama. Total gabungan dari rangkaian disebut inverter.(Evalina et al., 2019)



Gambar 2.29 Struktur Inverter Sederhana (Sumber: Etsworlds.id)

Saat posisi S1 dan S2 di A, beban mendapatkan tegangan positif, sedangkan tegangan negatif didapat saat S1 dan S2 di posisi B. Dengan demikian pemindahan saklar (S1 dan S2) pada gilirannya akan menghasilkan tegangan

bolak-balik yaitu kuadrat yang ditentukan oleh sumber, dan frekuensi ditentukan oleh sakelar kecepatan *switching*. Berdasarkan konfigurasi inverter dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu inverter setengah fase jembatan tunggal dan inverter jembatan fase tunggal. Sementara itu, berdasarkan jumlah fasa, inverter dapat dibagi menjadi 2 jenis serta inverter fase tunggal dan inverter tiga fase.

Inverter dapat dibedakan atas 2 jenis juga yaitu inverter satu fasa dan inverter tiga fasa. Berdasarkan pengaturan tegangan dan frekuensinya, *inverter* terbagi atas dua jenis antara lain :

- a. *Inverter Constant Voltage Constant Frequency (CVCF)* Yaitu inverter dengan frekuensi dan tegangan keluaran yang konstan.
- b. *Inverter* dengan frekuensi dan tegangan keluaran yang berubah-ubah. Umumnya inverter dengan frekuensi dan tegangan keluaran yang berubah-ubah digunakan pada pemakaian khusus seperti pemakaian pada motor listrik 3 fasa dengan menggunakan sumber tegangan AC. Kerugian cara ini adalah bahwa sistem hanya dapat digunakan pada pemakaian khusus saja, sedangkan keuntungannya adalah kemampuan untuk menggerakkan sistem (beban) dengan sumber-sumber yang berubah-ubah seperti misalnya *photovoltaic* atau *solarcell*.

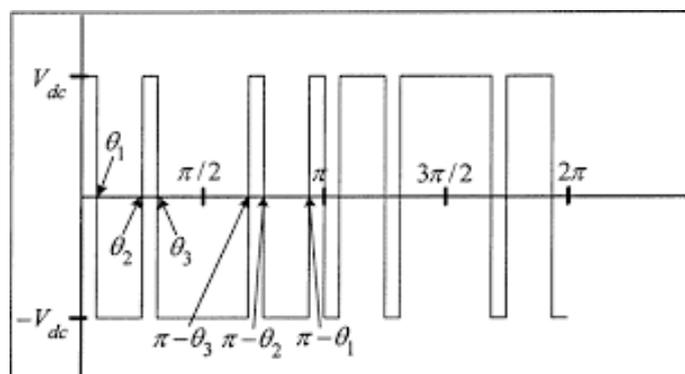
C. Pengendalian Tegangan Inverter

Aplikasi yang sering digunakan didunia industri untuk mengendalikan tegangan keluaran inverter. Terdapat beberapa teknik untuk mengendalikan tegangan keluaran inverter. Pada umumnya teknik yang sering dipakai adalah sistem PWM (*Pulse Width Modulation*), sistem kontrol yang berbeda-beda ini menghasilkan karakteristik motor yang berbeda pula seperti (getaran, suara, riak,

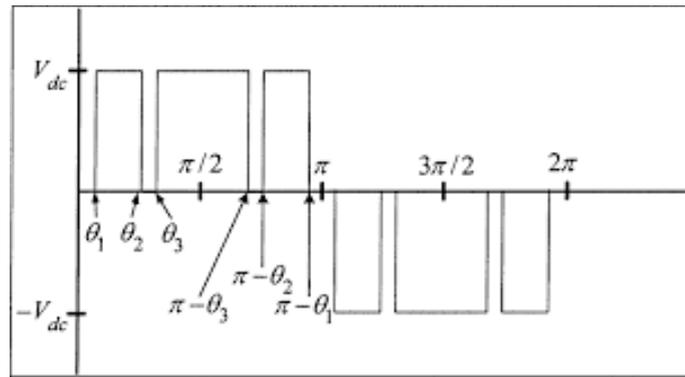
arus motor, respon torsi). Pada PWM beberapa pulsa hidup mati dihasilkan dalam satu siklus dan lamanya juga beragam unuk mengubah-ubah tegangan output. Jumlah pulsa hidup mati yang dihasilkan dalam satu detik disebut frekuensi pembawa.

Inverter PWM satu fasa adalah inverter satu fasa yang menggunakan teknik penyaklaran PWM. *Pulse Width Modulation* merupakan proses perubahan sinyal sebuah gelombang dengan pengaturan besar kecilnya lebar pulsa gelombang. PWM dapat dikatakan suatu teknik manipulasi dalam pengolahan sinyal gelombang yang menggunakan prinsip pensaklaran, yaitu pengaturan sinyal gelombang dalam keadaan *on* dan *off*.

Inverter PWM satu fasa dapat diwujudkan dengan *bipolar switching* dan *unipolar switching*. *Bipolar switching* merupakan keadaan penyaklaran yang mengalami keadaan pulsa bertegangan positif dan negatif. Sedangkan *unipolar switching* dapat didefinisikan keadaan penyaklaran yang memiliki keadaan pulsa bertegangan positif, negatif, dan nol. Gambar 2.25 dan 2.26 merupakan *Bipolar Switching Scheme* dan *Unipolar Switching Scheme*.



Gambar 2.30. *Bipolar Switching Scheme* (Sumber: Etsworlds.id)



Gambar 2.31. *Unipolar Switching Scheme* (Sumber: Etsworlds.id)

Pada sistem PWM ini getaran motor dan kebisingan motor dari komponen frekuensi sebanding dengan frekuensi pembawa yang dihasilkan, Frekuensi pembawa dari sebuah inverter bersuara akustik lebih rendah, jadi pada inverter dengan nilai frekuensi pembawa yang besar dapat menghaluskan suara bising dari motor listrik. Akan tetapi hal tersebut dapat membuat arus bocor yang terjadi antara motor dan inverter menjadi lebih besar, sehingga dapat mengakibatkan terjadinya arus lebih. Untuk kondisi seperti ini pemilihan penghantar kebocoran arus ke bumi/pentanahan harus dilakukan dengan benar. Penggunaan inverter dapat memperbaiki factor kerja pada beban dibandingkan dengan tanpa menggunakan inverter, demikian juga arus yang dikonsumsi pada beban yang menggunakan inverter jauh lebih kecil jika dibandingkan tanpa menggunakan *inverter*.

2.2.13 *Solar Home System (SHS)*

Sistem PLTS yang cukup besar penggunaannya di Indonesia adalah Sistem P yang juga merupakan sistem penerangan rumah secara individual yaitu SHS. Penggunaannya di pedesaan di dasarkan atas pertimbangan faktor-faktor berikut ini: Pola pemukiman antara rumah di desa cukup menyebar.

- a. Pola pemukiman antara rumah di desa cukup menyebar
- b. Sulit mendapatkan transportasi darat dan laut.
- c. Belum memerlukan integrasi dengan pembangkit lain.
- d. Modul mudah dikembangkan
- e. Kapasitas kecil, sehingga instalasinya mudah.
- f. Harga terjangkau.
- g. Radiasi matahari sebagai sebagai sumber energi mencukupi.
- h. Tidak tergantung terhadap BBM.

SHS adalah salah satu sistem PLTS untuk listrik pedesaan sebagai system penerangan rumah secara individual atau desentralisasi dengan daya terpasang relatif kecil yaitu sekitar 48-55 Wp. Jumlah daya sebesar 50 Wp per rumah tangga diharapkan dapat memenuhi kebutuhan penerangan, informasi (TV dan Radio) dan komunikasi (Radio komunikasi). Komponen-komponen utama SHS, terdiri dari :

1. Modul *fotovoltaik* sebagai catudaya yang menghasilkan energi listrik dari masukan sejumlah energi matahari.
2. Baterai sebagai penyimpan dan pengkondisi energi.
3. Alat pengontrol energy baterai
4. Beban listrik seperti lampu TL,radio,televisi dan lain-lain.

2.2.14 Daya Listrik

Daya Listrik atau dalam bahasa Inggris disebut dengan Electrical Power adalah jumlah energi yang diserap atau dihasilkan dalam sebuah sirkuit/rangkaian. Sumber Energi seperti Tegangan listrik akan menghasilkan daya listrik sedangkan beban yang terhubung dengannya akan menyerap daya listrik tersebut. Dengan

kata lain, Daya listrik adalah tingkat konsumsi energi dalam sebuah sirkuit atau rangkaian listrik. Kita mengambil contoh Lampu Pijar dan Heater (Pemanas), Lampu pijar menyerap daya listrik yang diterimanya dan mengubahnya menjadi cahaya sedangkan Heater mengubah serapan daya listrik tersebut menjadi panas. Semakin tinggi nilai Watt-nya semakin tinggi pula daya listrik yang dikonsumsinya. Sedangkan berdasarkan konsep usaha, yang dimaksud dengan daya listrik adalah besarnya usaha dalam memindahkan muatan per satuan waktu atau lebih singkatnya adalah Jumlah Energi Listrik yang digunakan tiap detik. Berdasarkan definisi tersebut, perumusan daya listrik adalah seperti dibawah ini :

$$P = E / t$$

Dimana :

P = Daya Listrik

E = Energi dengan satuan Joule

t = waktu dengan satuan detik

Dalam rumus perhitungan, Daya Listrik biasanya dilambangkan dengan huruf “P” yang merupakan singkatan dari Power. Sedangkan Satuan Internasional (SI) Daya Listrik adalah Watt yang disingkat dengan W. Watt adalah sama dengan satu joule per detik (Watt = Joule / detik).

Satuan turunan Watt yang sering dijumpai diantaranya adalah seperti dibawah ini:

$$1 \text{ miliWatt} = 0,001 \text{ Watt}$$

$$1 \text{ kiloWatt} = 1.000 \text{ Watt}$$

$$1 \text{ MegaWatt} = 1.000.000 \text{ Watt}$$

Rumus umum yang digunakan untuk menghitung Daya Listrik dalam sebuah Rangkaian Listrik adalah sebagai berikut :

$$P = V \times I \text{ Atau } P = I^2 R \text{ P} = V^2 / R \text{ (2)}$$

Dimana :

P = Daya Listrik dengan satuan Watt (W)

V = Tegangan Listrik dengan Satuan Volt (V)

I = Arus Listrik dengan satuan Ampere (A)

R = Hambatan dengan satuan Ohm (Ω)

BAB 3

METODE PENELITIAN

Prosedur penelitian dimaksudkan agar penelitian berjalan dengan baik dan berurutan. Dengan adanya prosedur penelitian diharapkan penelitian dapat berjalan dengan lancar dan mendapatkan hasil yang maksimal.

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dan pembuatan laporan hasil pengujian pada “Analisis Perancangan Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Untuk Perumahan Mess Ternak Mabar (Solar Home System)” yang dilakukan pada tanggal 19 Juni 2022 sampai dengan selesai, tempat di Mabar.

3.2 Peralatan dan Bahan

Peralatan dan bahan yang akan digunakan sebagai pendukung penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.2.1 Peralatan Penelitian

1. Multimeter berfungsi sebagai alat yang digunakan untuk mengukur tegangan (V) dan arus listrik (A).
2. Tang Ampere Meter berfungsi sebagai alat yang digunakan untuk mengukur tegangan (V), hambatan/resistansi (Ohm), arus listrik (A), tanpa harus memotong kabel listrik.
3. Tools kit (Berisikan Peralatan pendukung seperti : Tang Pengelupas Kabel, Tang Skun Kabel, Tang Pemotong, Tang Cucut, Tang Kombinasi, Obeng Plus Minus, dan lain sebagainya).

3.2.2 Bahan Penelitian

1. Panel surya yang telah terpasang pada jaringan PLTS di rumah tangga tersebut. Dengan spesifikasi dari panel yang digunakan adalah sebagai berikut:
 - 1). Daya maksimum : 100 Wp
 - 2). Toleransi daya : 3%
 - 3). Tegangan maksimum : 17,69 V
 - 4). Berat : 7,7 kg
 - 5). Dimensi : 1020 mm x 607 mm x 30 mm



Gambar 3.1 Panel Surya merk A GRADE (Sumber: Sunergi.co.id)

2. Baterai (aki) berfungsi sebagai penyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia atau konversi energi yang bekerja berdasarkan prinsip elektrokimia.

Spesifikasi baterai:

- 1). Merk : YUASA -VRLASWL3300 (FR)
- 2). Tegangan nominal: 12Volt
- 3). Kapasitas :105 Ah
- 4). Berat :38 kg
- 5). Dimensi :350 mm x168 mm x255 mm



Gambar 3.2 Baterai YUASA -VRLASWL3300 (FR)

(Sumber: Teknik elektronika.com)

3. Inverter berfungsi mengubah tegangan listrik DC (*Direct Current*) menjadi tegangan listrik AC (*Alternating Current*).

Spesifikasi Inverter :

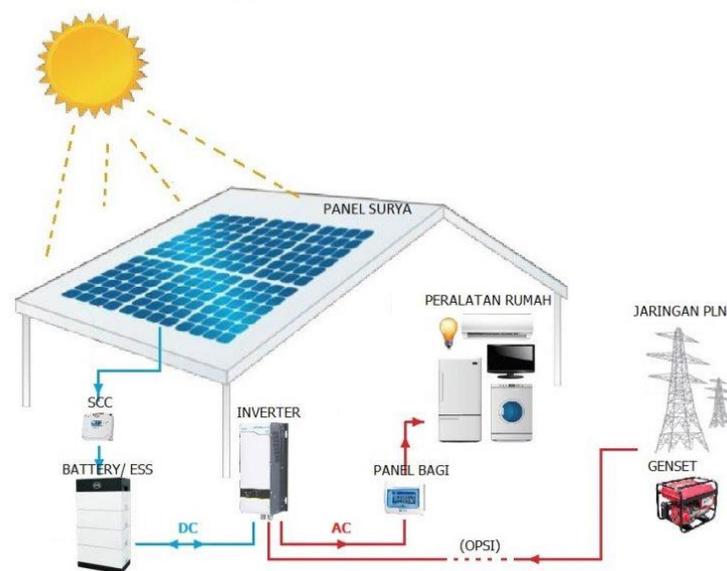
- 1). Merk : YCP
- 2). Tegangan input : 12VDC/24 VDC/48 VDC
- 3). Tegangan output : 110 VAC/220 VAC
- 4). Daya : 1000 W



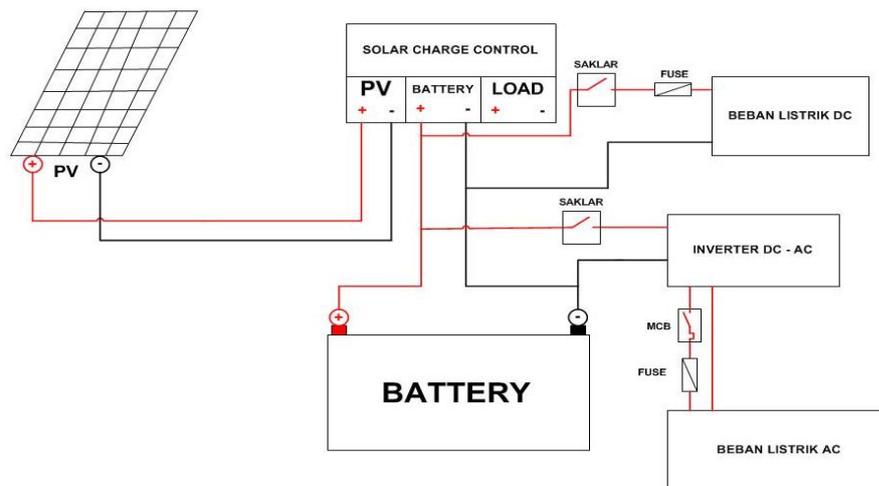
Gambar 3.3 Inverter YCP(Sumber: Teknik elektronika.com)

4. Kabel listrik jenis NYAF ukuran 1 x 2,5 mm² berfungsi untuk menghantarkan aliran listrik dari sumber listrik menuju ke perangkat pengguna listrik.

3.3 Gambar Keseluruhan Rangkaian Dan Bagan Rangkaian



Gambar 3.4 : Sistem PLTS (Sumber: Sunergi.co.id)



Gambar 3.5 Bagan rangkaian (Sumber: Sunergi.co.id)

Penjelasan :

panel surya merupakan sumber listrik DC yang dihubungkan ke solar charge controller. Kemudian menghasilkan arus dan tegangan searah (DC) yang akan dialirkan ke inverter. Setelah mendapatkan tegangan yang sesuai dengan kapasitas inverter. Inverter akan mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC yg akan kita gunakan pada beban untuk menghidupkan alat elektronik seperti Televisi, kipas angin, lampu, kulkas, dan alat elektronik lainnya.

3.4 Diagram Alir Penelitian

1. Studiliteratur

Dalam studi literatur dilakukan pencarian informasi atau bahan materi baik dari internet, jurnal, maupun sumber-sumber lain yang berkaitan dengan penelitian ini. Materi tersebut diantaranya mengenai penelitian dan Perancangan Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

2. Perancangan peralatan

Setelah melakukan studi literatur, kemudian merancang segala sesuatu yang berkaitan dengan penelitian ini. Beberapa bahan yaitu:

- a. Panel surya 100Wp
 - b. Baterai 12V/105AH
 - c. Inverter 1000W
 - d. Kabel Penghubung
 - e. Multimeter
 - f. Tang ampere meter
- a). Pengukuran tegangan

Setelah itu dilanjutkan dengan melakukan pengukuran tegangan dengan menggunakan alat ukur tang ampere dan rumus tegangan.

- b). Pengukuran arus

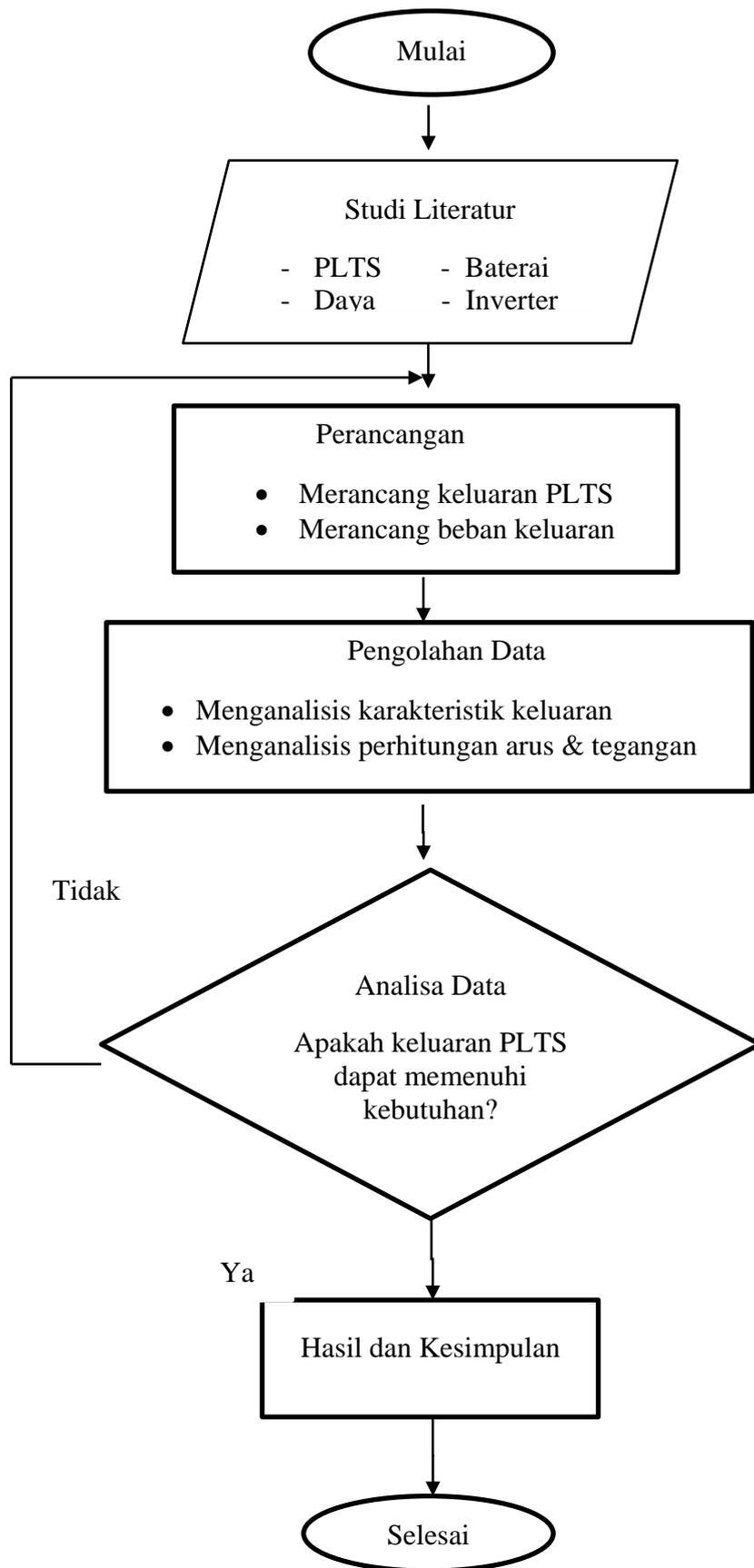
Setelah melakukan pengukuran tegangan dilanjutkan dengan mengukur arus yang dikeluarkan dengan menggunakan tang ampere dan rumus arus.

- c). Analisa data

Setelah dilakukanya pengukuran tegangan dan arus kemudian dapat di hasil pengujian kemudian, Data dimasukan kedalam lembar kerja berupa tabel data, sehingga memudahkan dalam pengolahan data tersebut.

- d). Kesimpulan

Dari data yang sudah diolah dalam bentuk tabel dapat diambil beberapa kesimpulan. Seperti tegangan dan arus yang dihasilkan oleh keluaran dari hasil penelitian berdasarkan keluaran yang di peroleh dilokasi percobaan dan kesimpulan lainnya



Gambar 3.6 Bagan Alir Penelitian

3.5 Prosedur Penelitian

A. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh dengan melakukan pengukuran selama *observasi*. Pengukuran dilakukan selama 30 menit sekali dalam waktu 1x24 jam, pada hari Minggu. Pengukuran yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain:

- 1) Pengukuran tegangan pada rumah tangga.
- 2) Pengukuran daya yang terpakai pada rumah tangga.
- 3) Pembuatan grafik beban puncak pada rumah tangga.

B. Membuat *Single Line Diagram*

Pembuatan *single line* juga dilakukan agar dapat mengetahui sistem dan alur pembangkitan energi listrik tenaga surya yang ada di rumah tangga.

C. Menghitung Daya Listrik

Dari pengukuran tegangan dan arus diatas, kemudian dilakukan perhitungan daya dengan menggunakan rumus yang terdapat didalam kajian teori. Perhitungan dilakukan untuk mencari nilai daya pada sistem pembangkit listrik tenaga surya yang meliputi:

- a. Perhitungan daya yang terpakai pada rumah tangga.
- b. Perhitungan keluaran PLTS.
- c. Perhitungan ketahanan batrai sebagai daya cadangan untuk membac up supply PLN pada rumah tangga.

D. Melakukan Analisa Hasil Perhitungan

Setelah didapatkan hasil dari perhitungan daya diatas, langkah selanjutnya melakukan analisa kemampuan pembangkit listrik dalam menghasilkan energilistrik untuk mencukupi kebutuhan beban rumah tangga.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Umum

Tugas akhir ini bertujuan untuk melihat hasil pengukuran yang didapat dengan menggunakan Analisis Perancangan Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Untuk Perumahan Mess Ternak Mabar. Hasil yang dilihat adalah Tegangan dan arus pada keluaran yang didapat dari hasil Analisis Perancangan Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Untuk Perumahan Mess Ternak Mabar (Solar Home System)". Hasil pengukuran diperoleh dengan mengamati hasil keluaran daya yang terpasang.

4.2 Analisa Beban Listrik Yang Terpakai Pada Rumah Tangga.

Berikut adalah data beban harian rumah tangga dengan daya terpasang 900VA dengan jumlah penghuni sebanyak 3 orang.

Tabel4.1. Data beban harian rumah tangga (daya terpasang 900VA)

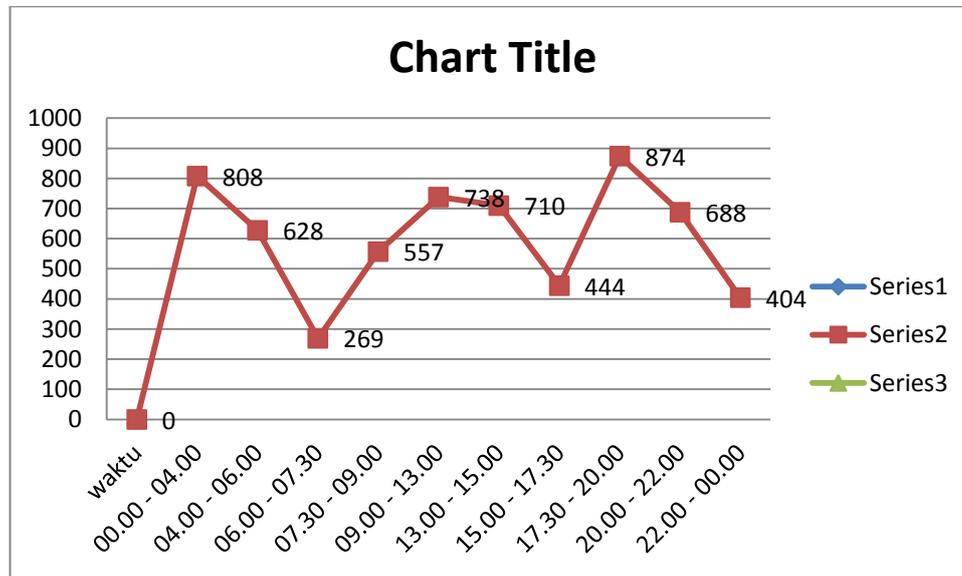
NO	Waktu	Peralatan Listrik	Daya (Watt)	Waktu Pemakaian (Jam)	Jumlah (Watt/Jam)	Total
1.	00.00-04.00 Wib	Lampu LED Ruang tamu	12	4	48	808 Watt/Jam
		Lampu LED Kamar Tidur 1	5	4	20	
		Lampu LED kamar Tidur 2	5	4	20	
		Kipas Angin 2 pcs	100	4	400	
		Kulkas	80	4	320	
2.	04.00-06.00 Wib	Lampu LED Dapur	12	2	24	628 Watt/Jam
		Lampu LED Ruang tamu	12	2	24	
		Lampu LED Kamar Tidur 1	5	2	10	
		Lampu LED kamar Tidur 2	5	2	10	
		Kipas Angin 1 pcs	50	1	50	
		Magic Com (Memasak)	350	1	350	
		Kulkas	80	2	160	
3.	06.00-07.30 Wib	Lampu LED Dapur	12	1	12	269 Watt/Jam
		Magic Com (Memanaskan)	58	1,5	87	
		Kipas Angin 1 pcs	50	1	50	
		Kulkas	80	1,5	120	
4.	07.30-09.00 Wib	Mesin Cuci	350	1	350	557 Watt/Jam
		Magic Com (Memanaskan)	58	1,5	87	
		Kulkas	80	1,5	120	

5.	09.00-13.00 Wib	Televisi	122	2	244	738 Watt/Jam
		Magic Com (Memanaskan)	58	3	174	
		Kulkas	80	4	320	
6.	13.00-15.00 Wib	Setrika	300	1,5	450	710 Watt/Jam
		Kipas Angin 1 pcs	50	2	100	
		Kulkas	80	2	160	
7.	15.00-17.30 Wib	Televisi	122	2	244	444 Watt/Jam
		Kulkas	80	2,5	200	
		Lampu LED Ruang tamu	12	3,5	42	
8.	17.30-20.00 Wib	Lampu LED Kamar Tidur 1	5	3,5	17,5	874 Watt/Jam
		Lampu LED kamar Tidur 2	5	3,5	17,5	
		Lampu LED Dapur	12	3,5	42	
		Magic Com (Memasak)	350	1	350	
		Kipas Angin 1 pcs	50	2,5	125	
		Kulkas	80	3,5	280	
9.	20.00-22.00 Wib	Lampu LED Ruang tamu	12	2	24	688 Watt/Jam
		Lampu LED Kamar Tidur 1	5	2	10	
		Lampu LED kamar Tidur 2	5	2	10	
		Lampu LED Dapur	12	2	24	
		Televisi	122	2	244	

		Magic Com (Memaskan)	58	2	116	
		Kipas Angin 1 pcs	50	2	100	
		Kulkas	80	2	160	
10.	22.00-00.00 Wib	Lampu LED Ruang tamu	12	2	24	404 Watt/Jam
		Lampu LED Kamar Tidur 1	5	2	10	
		Lampu LED kamar Tidur 2	5	2	10	
		Kipas Angin 2 pcs	100	2	200	
		Kulkas	80	2	160	
	Total Daya Peralatan Listrik		1.447 Watt	Total Daya		6120 Watt/Jam

Tabel diatas menunjukkan bahwa pemakaian daya listrik tertinggi pada rumah tangga dengan daya terpasang 900 VA terletak pada pukul 17.30 – 20.00 Wib yaitu sebesar 874 Watt/Jam. Dan pemakaian daya listrik terendah berada pada pukul 06.00 – 07.30 Wib yaitu sebesar 269 Watt/Jam. Lalu untuk total keseluruhan daya peralatan listrik ialah sebesar 1.447 Watt. Kemudian untuk total daya yang digunakan dalam jangka satu hari dengan pemakaian peralatan listrik diwaktu yang berbeda adalah sebesar 6.120 Watt/Jam.

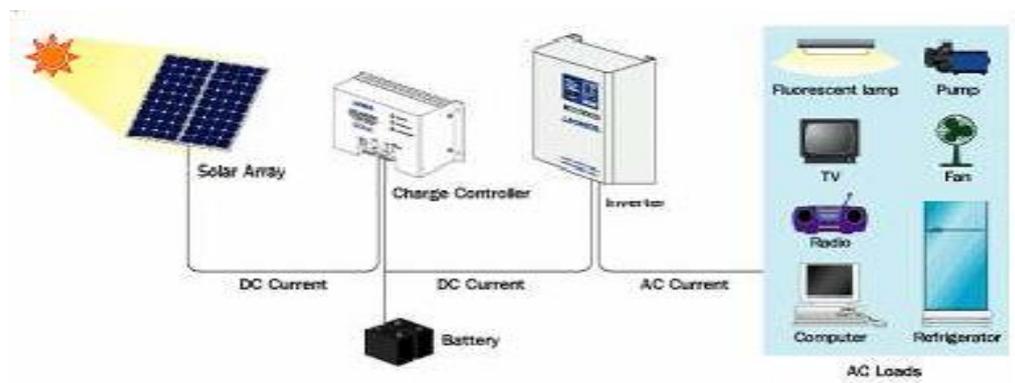
Gambar 4.1 Grafik karakteristik beban harian



Grafik diatas menunjukan perbedaan pemakaian daya listrik pada rumah tangga dengan daya terpasang 900 VA dalam rentang waktu yang berbeda. Terlihat pada grafik bahwa beban puncak terletak pada pukul 17.30 – 20.00Wib dengan total daya sebesar 874 Watt/jam.

4.2. Analisa Sistem Keluaran PLTS.

1. Analisa kinerja operasi sistem PLTS .



Gambar 4.2 Diagram PLTS (Sumber: Sunergi.co.id)

Gambar diatas menjelaskan bahwa komponen utama sistem PLTS adalah solar PV (*photovoltaic*) dimana pada pagi sampai sore hari permukaan PV dikenai cahaya matahari, maka akan menghasilkan pasangan electron dan hole. Electron akan meninggalkan sel surya dan akan mengalir pada rangkaian luar sehingga timbul arus listrik, susunan PV tersebut terpasang secara seri-paralel.

2. Karakteristik panel yang digunakan dengan merk A Grade
 - a. Daya maksimum : 100 Wp
 - b. Toleransi daya : 3%
 - c. Tegangan maksimum : 17, 69 V
 - d. Berat : 7,7 kg
 - e. Dimensi : 1020 mm x 607 mm x 30 mm



Gambar 4.2.1 Panel Surya merk A GRADE (Sumber: Sunergi.co.id)

Dari data tersebut maka dapat ditentukan kebutuhan panel surya untuk rumah tangga sebagai berikut:

Total Daya Panel surya = Total Daya : Waktu optimal (Indonesia 5 jam)

$$= 6.120 \text{ Watt/Jam} : 5 \text{ jam}$$

$$= \underline{1.224 \text{ Wp}}$$

Kemudian untuk mengetahui berapa panel surya yang akan digunakan untuk kebutuhan rumah tangga maka:

Jumlah Panel Surya = Daya yang diperlukan : Daya yang tertera pada panel

$$= 1.224 \text{ Wp} : 100 \text{ Wp}$$

$$= 12,24 \text{ pcs (dibulatkan)}$$

$$= \underline{13 \text{ pcs}}$$

Maka total panel surya yang dibutuhkan untuk rumah tangga dengan daya terpasang 900 Va adalah 13 pcs.

4.3. Analisis karakteristik baterai yang digunakan.

1. Karakteristik baterai yang digunakan pada PLTS
 - a. Merk : YUASA -VRLASWL3300 (FR)
 - b. Tegangan nominal: 12Volt
 - c. Kapasitas :105 Ah
 - d. Berat :38 kg

- e. Dimensi :350 mm x168 mm x255 mm



Gambar 4.3. Baterai YUASA -VRLASWL3300 (FR)

(Sumber: Teknik elektronika.com)

Dari data diatas maka dapat ditentukan kebutuhan jumlah batrai yang digunakan pada PLTS untuk rumah tangga ialah:

Jumlah baterai = total daya listrik yang digunakan : kapasitas baterai

$$= 6.120 \text{ Watt/Jam} : (12 \text{ V} \times 105 \text{ Ah})$$

$$= 6.120 \text{ Watt/Jam} : 1260 \text{ VA/Jam}$$

$$= 4,85 \text{ pcs (dibulatkan)}$$

$$= \underline{5 \text{ pcs}}$$

Total baterai yang dibutuhkan untuk penggunaan PLTS pada rumah tangga sebanyak = 5 pcs

2. Ketahanan baterai dalam memback up daya listrik rumah tangga dengan daya terpasang 900 VA.

Dari hasil dan data yang diperoleh dapat menjadi acuan untuk mengetahui ketahanan baterai mampu memback up berapa lama jika terjadi pemutusan supply dari PLN.

sebagai berikut :

1) Beban puncak pada rumah tangga = 874 Watt/Jam

2) Kapasitas baterai yang digunakan = 12 V x 105 Ah x 5 pcs = 6.300 Watt

Kemudian untuk mengetahui seberapa lama baterai bisa memback up jika terjadi pemutusan supply PLN dapat digunakan rumus :

Lama ketahanan baterai = Daya baterai : Daya beban puncak

$$= 6.300 \text{ Watt} : 874 \text{ Watt/Jam}$$

$$= \underline{7,2 \text{ Jam}}$$

Maka didapat hasil ketahanan baterai mampu memback up berapa lama jika terjadi pemutusan supply PLN ialah sekitar 7,2 jam atau bisa disebut juga 7 jam 20 menit.

3. Menentukan lama waktu panel surya melakukan pengisian daya baterai.

Dari perhitungan sebelumnya maka didapat:

Total Watt/Jam panel surya = Total daya panel surya : Waktu optimal matahari

$$= 1.224 \text{ Wp} : 5 \text{ Jam}$$

$$= 244,8 \text{ Watt/Jam (dibulatkan)}$$

$$= \underline{245 \text{ Watt/Jam}}$$

Untuk menentukan berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mengisi baterai 105 Ah dengan tegangan 12 Volt dapat digunakan perhitungan sebagai berikut.

Arus yang dikirim = Total Watt/Jam panel surya : Tegangan baterai

$$= 245 \text{ Watt/Jam} : 12 \text{ Volt}$$

$$= \underline{20 \text{ A.}}$$

Setelah itu untuk mencari berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mengisi baterai maka digunakan rumus sebagai berikut.

Waktu yang diperlukan mengisi baterai = Arus pada baterai : Arus yang dikirim

$$= 105 \text{ Ah} : 20 \text{ A}$$

$$= \underline{5,25 \text{ Jam}}$$

Jadi waktu yang diperlukan panel surya untuk mengisi baterai ialah 5,25 Jam.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang dilakukan dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan merk A Grade dengan daya 100 Wp panel surya yang dibutuhkan untuk rumah tangga dengan daya terpasang 900 Va adalah sebanyak 13 pcs.
2. Dengan menggunakan merk YUASA -VRLASWL3300 (FR) 105 Ah 12 Volt baterai yang dibutuhkan untuk pemasangan PLTS pada rumah tangga dengan daya terpasang 900 Va adalah sebanyak 5 pcs.
3. Dengan jumlah panel surya 13 pcs dan jumlah baterai 5 pcs maka ketahanan yang mampu di back up jika terjadi pemutusan supply PLN hanya berkisar 7 jam 20 menit.

5.2 Saran

1. Untuk dari model yang dirancang masih banyak kekurangan dikarenakan bahan yang kurang memadai.
2. Tingkat kerapian kerja perlu ditingkatkan lagi agar mendapat hasil yang lebih baik.
3. Bahan yang berkualitas akan membuat suatu product yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Alamanda,D.,1997,*Prospek PLTS di Indonesia*, ELEKTRO INDONESIA, Edisi ke-10.
- Alamanda,D.,2004,*Penerapan Teknologi PLTS sebagai solusi untuk membuka keterisolasian wilayah pedalaman dan terpencil*, BERITA BPPT.
- Bachtiar,M.,2006, *Prosedur Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Untuk Perumahan (Solar Home System)*, jurnal SMARTek, Vol.4, No.3.
- Solarex,1996, *Discover the Newest World Power*,Frederick Court, Maryland, USA.
- Wenas,W.W.,1996,Teknologi *Sel Surya: Perkembangan dewasa ini dan yang akan datang*, MAJALAH ELEKTRO INDONESIA, Edisi ke-4.
- ramadhan.,(2016) *perencanaan pembangkit listrik tenaga surya diatap gedung harry hartono universitas trisakti*. Retrieved From.
<http://www.trijurnal.lemlit.trisakti.ac.id/semnas/articel/view/905>
- Nico.,(2010) *Studi Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Interkoneksi Dengan Sumber Listrik Utama Pada Gedung Direktorat Jendral Ketenagalistrikan Jakarta, Universitas 17 Agustus 1945*
<http://www.neliti.com/id/publications/259761/studi-pemanfaatan-pembangkit-listrik-tenaga-surya-interkoneksi-dengan-sumberlis>
- sudrajatAdjat.,(2007) *sistem-sistem pembangkit listrik tenaga*

surya”BPPTPRESS

Hafid.,zainal.,(2017) *analisa pembangkit listrik tenaga surya pulau balang*

lombo Retrieved From

<http://ejurnal.pnl.ac.id/index.php/litek/article/view/1231>

Eka.,rosmaliati.,ida(2014) *analisa unjuk kerja system fotovoltaikon-grid pada*

pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) gili terawangan. Retrieved

From<http://dielektrika.unram.ac.id/index.php/dielektrika/article/view/47>

Hasanhasnawiya(2012) *perancangan pembangkit listrik tenaga surya dipulau*

*sugi.*Retrieved From

<https://core.ac.uk/download/pdf/25489720.pdf>

Direktorat jendral ESDM. *Panduan study kelayakan pembangkit listrik*

tenagasurya (PLTS) terpusat.

<http://ebtke.esdm.go.id/post/2019/03/04/2152/panduan.studi.kelayakan.pe>

mbangkit.listrik.tenaga.surya.plts.terpusat