

BAB II

TINJAUAN PUSAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

pembangkit listrik tenaga surya adalah pembangkit listrik yang mengubah energi surya (cahaya) menjadi energi listrik. Pembangkit listrik bisa dilakukan dengan dua cara ,yaitu secara langsung menggunakan fotovoltaik dan secara tidak langsung dengan pemusatan energi surya. Fotovoltaik mengubah secara langsung energi cahaya menjadi listrik menggunakan sistem lensa atau cermin di kombinasikan dengan sistem pelacak untuk memfokuskan energi matahari ke satu titik untuk menggerakkan mesin kalor (panas) seperti mesin stirling atau lainnya.



Gambar 2.1 PLTS

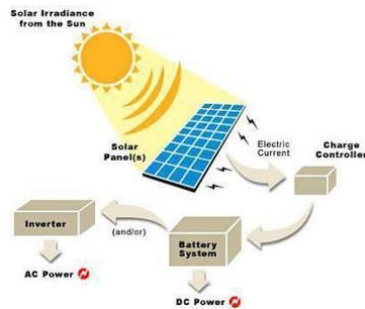
Indonesia memiliki karunia sinar matahari yang hampir sepanjang¹ tahun ada karena indonesia terletak di wilayah katulistiwa. Hampir di setiap pelosok indonesia ,matahari menyinari sepanjang pagi sampai sore. Energi matahari yang di pancarkan dapat di ubah menjadi energi listrik dengan menggunakan panel surya / *solar cel*. Pembangkit listrik tenaga surya termasuk pembangkit listrik ramah lingkungan , dan

¹ 1 Tri joko pranomo ,dkk “implementasi logika fuzzy untuk system otomatisasi pengaturan pengisian batere pembangkit listrik tenaga surya “, jurnal energy kelistrikan , Vol.9 No2juni 2017,hal 113

sangat menjanjikan sebagai salah satu alternatif untuk menggantikan pembangkit listrik menggunakan uap (dengan minyak dan batu bara). Perkembangan teknologi dalam membuat panel surya /*solar cel* semakin hari semakin lebih baik terutama meningkatkan efisiensi, pembuatan aki yang tahan lama, pembuatan alat elektronik yang dapat menggunakan Direct Current. Pada saat ini penggunaan tenaga matahari (*solar cel*) masih mahal karena tidak ada subsidi dari pemerintah

2.1.1 Cara Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya

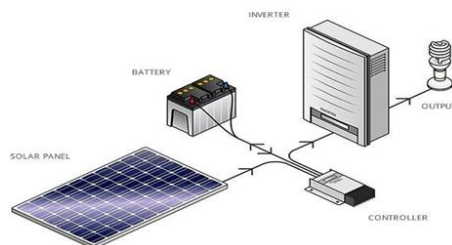
Cara kerja dari pembangkit listrik tenaga surya cukup sederhana. Komponen utama dari sumber energi ini adalah sel fotovoltaik. Sel tersebut memiliki peranan untuk menangkap panas matahari yang kemudian akan diubah menjadi energi listrik. Jika dibandingkan dengan pembangkit listrik yang lain, jenis pembangkit listrik ini diklaim lebih ramah lingkungan, murah dan hampir tidak memiliki polusi ataupun limbah, hal tersebut merupakan beberapa keuntungan dari pembangkit listrik ini. Setelah panas matahari ditangkap oleh sel fotovoltaik lalu panas tersebut akan digunakan untuk memanaskan cairan yang selanjutnya menjadi uap yang dihasilkan akan dipanaskan oleh sebuah generator yang akhirnya akan menghasilkan listrik. Umumnya prinsip kerja dari pembangkit listrik jenis ini hampir sama seperti cara kerja pembakaran bahan bakar fosil dalam pengolahannya. Yang membedakan dari pembangkit listrik bahan bakar fosil dan pembangkit listrik tenaga matahari ini adalah uap yang dihasilkan bukan dari pembakaran minyak fosil, akan tetapi dari tenaga surya atau cahaya matahari.²



Gambar 2.2 Proses konversi energi matahari menjadi energi listrik

Panel surya atau solar cell sebagai komponen penting pembangkit listrik tenaga surya, mendapatkan tenaga listrik pada pagi sampai sore hari sepanjang ada sinar matahari. Umumnya kita menghitung maksimum sinar matahari yang diubah menjadi tenaga listrik sepanjang hari adalah 5 jam. Tenaga listrik pada

Pagi sore di simpan dalam baterai, sehingga listrik dapat di gunakan pada malam hari, dimana tanpa sinar matahari. Karena pembangkit listrik tenaga surya sangat tergantung kepada sinar matahari, maka perencanaan yang baik sangat diperlukan berapa besar arus yang di hasilkan panel surya atau solar cel (dalam ampere hour), dalam hal ini memperhitungkan berapa jumlah panel surya /solar cel yang harus di pasang. Berapa unit baterai ini yang di perlukan untuk kapasitas yang di inginkan dan pertimbangan penggunaan tanpa matahari (Ampere hour)



Gambar 2.3 Komponen Dasar Pembangkit Listrik Tenaga Surya

2.1.2 Prinsip Dasar Energi Surya

Setiap lokasi di Bumi menerima sinar matahari setidaknya bagian dari tahun. Jumlah radiasi matahari yang mencapai setiap daerah di permukaan bumi bervariasi sesuai dengan:

- Lokasi Geografis
- Waktu Hari
- Musim
- Lanskap Lokasi
- Cuaca Lokasi

Karena bumi itu bulat, matahari menyerang permukaan pada sudut yang berbeda, mulai dari 0° (tepat di atas cakrawala) sampai 90° (tepat di atas kepala). Ketika sinar matahari yang vertikal, permukaan bumi mendapatkan semua energi mungkin. Sinar matahari lebih miring adalah, semakin lama mereka melakukan perjalanan melalui atmosfer, semakin tersebar dan menyebar. Karena bumi itu bulat, daerah kutub dingin tidak pernah mendapatkan sinar matahari yang tinggi, dan karena sumbu rotasi miring, bidang ini menerima sinar matahari selama bagian dari tahun .

Bumi berputar mengelilingi matahari dalam orbit elips lebih dekat dengan matahari selama bagian dari tahun. Ketika matahari lebih dekat bumi, permukaan bumi menerima energy sedikit lebih surya. Bumi adalah dekat dekat matahari saat musim panas di belahan bumi selatan dan musim dingin di belahan bumi utara. Namun kehadiran moderat lautan luas musim panas lebih panas dan musim dingin satu akan mengharapkan untuk melihat di belahan bumi selatan sebagai akibat dari perbedaan ini.

Kemiringan rotasi $23,5$ di poros bumi adalah factor yang sangat penting dalam menentukan jumlah sinar matahari memukul bumi di

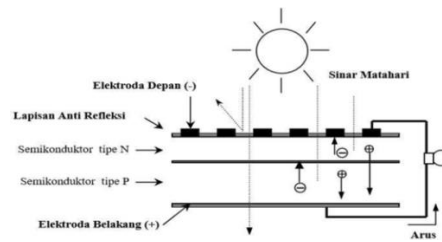
lokasi tertentu. Rotasi bumi juga bertanggung jawab untuk variasi per jam di sinar matahari. Pada sore hari dan awal akhir, matahari rendah di langit. Sinarnya perjalanan lebih jauh melalui atmosfer dari pada siang hari ketika matahari berada pada titik tertinggi. Pada hari yang cerah, jumlah terbesar dari energy matahari mencapai kolektor surya sekitar tengah hari surya.

2.1.3 Panel Surya

Panel Surya adalah alat konversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Untuk memanfaatkan potensi energi surya ada dua macam teknologi yang sudah diterapkan, yaitu energi surya fotovoltaik dan energi surya termal. Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik. Mereka disebut surya atau matahari atau "sol" karena matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan.³ Panel surya sering kali disebut sel *photovoltaic*, *photovoltaic* dapat diartikan sebagai "cahaya listrik". Sel surya bergantung pada efek *photovoltaic* untuk menyerap energi.²

Sel Surya (*Photovoltaic*) adalah sejumlah sel surya yang dirangkai secara seri maupun paralel, untuk meningkatkan tegangan maupun arus yang di hasilkan sehingga cukup untuk pemakaian sistem catu daya beban. Untuk mendapatkan keluaran energi listrik yang maksimum maka permukaan modul surya harus selalu mengarah ke matahari. *solar cel* terdiri dari silikon, silikon mengubah intensitas cahaya berkurang (berawan, hujan mendung) energi listrik yang di hasilkan juga akan berkurang. Pada umumnya, *solar cel* merupakan sebuah hamparan semi konduktor yang dapat menyerap *proton* dari sinar matahari dan mengubah menjadi listrik. Daya listrik yang di hasilkan *photovoltaic* berupa daya listrik DC yang kemudian akan di konveksikan menjadi AC

² Rifaldo Pido, dkk, " Analisa pengaruh Kenaikkan Temperatur Permukaan Sel Surya Terhadap Daya Keluaran ", Jurnal Infrastruktur & Ilmu Rekayasa Vol 2, No 2, Oktober 2019, Hlm. 25-26



Gambar 2.4 Cara Sel Surya PV Bekerja

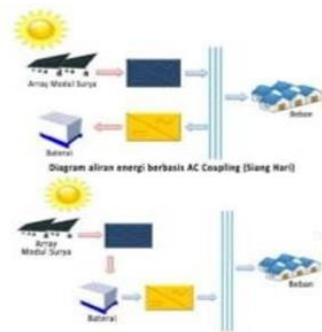
1. Pola Operasi PLTS (Off-Grid)

Terdapat 3 (tiga) pola operasi yang umum pada PLTS off-grid, yaitu:

- a. Siang Hari Pada Saat Energi PLTS (Off-Grid) Lebih Besar Dari Kebutuhan Beban

Besar energi yang dihasilkan oleh PLTS off-grid sangat tergantung kepada intensitas penyinaran matahari yang diterima oleh modul surya dan efisiensinya. Intensitas matahari maksimum mencapai 1000 Watt/m², apabila efisiensi modul surya sebesar 16% maka daya ideal yang dapat dihasilkan oleh modul surya adalah sebesar 160 Watt/m².

Diagram aliran energi yang di hasilkan pada siang dapat di lihat pada gambar berikut



Gambar 2.5 Diagram Aliran Energi yang di hasilkan pada siang hari

Pada sistem AC coupling ,Energi yang di dihasilkan modul surya pada kondisi tersebut langsung di salurkan ke beban (konsumen) melaui inverter grid-tied / inverter on-grid, apabila beban sudah tercukupi energi berlebih yang di dihasilkan modul surya di gunakan untuk pengisian

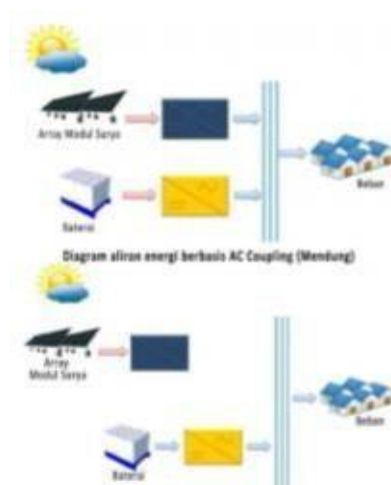
baterai melalui inverter baterai / inverter bidirectional. Pada sistem DC Coupling , energi yang di hasilka n modul surya pada kondisi tersebut di gunakan untuk mengisi baterai melalui solar charge controller (SCC) terlebih dahulu, baru kemudian di salurkan beban (konsumen)melaui inverter.

b. Siang hari pada saat ENERGI PLTS (off-Grid)lebih kecil dari kebutuhan beban

Kondisi apabila terjadi :

- Saat berawan atau mendung .
- Saat sore hari menjelang matahari terbenam
- PLTS off-grid akan menghasilkan energi listrik dari matahari namun tidak maksimal

Diagram aliran energi yang di hasilkan pada kondisi berawan / mendung dapat di lihat pada gambar berikut

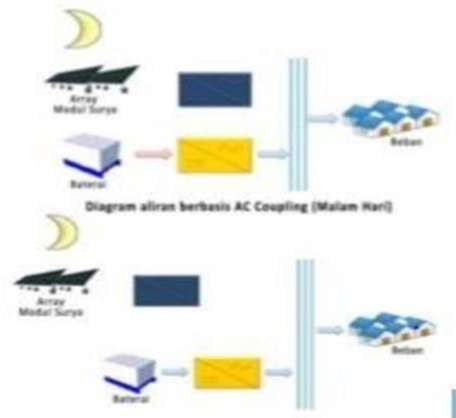


Gambar 2.6 Diagram Aliran energi yang di hasilkan pada kondisi berawan atau mendung

c. Malam hari

Pada malam hari sumber energi matahari tidsk dapat di manfaatkan lagi, oleh karena itu beban di suplai oleh baterai. Energi yang tersimpan dalam baterai pada siang hari akan di pergunakan untuk menyuplai beban saat di butuhkan melalui

inverter. Kemudian inverter mengubah arus a.s (DC) pada sisi baterai menjadi arus a.b.b (AC) ke sisi beban. Diagram aliran energi pada malam hari dapat di lihat pada gambar berikut.



Gambar 2.7 Diagram Aliran Energi yang di dihasilkan pada kondisi berwan atau mendung

2.2 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan suatu kesatuan sistem yang terdiri dari beberapa komponen, baik komponen utama maupun komponen pendukung, diantaranya yaitu :

a. Solar cell (photovoltaic)

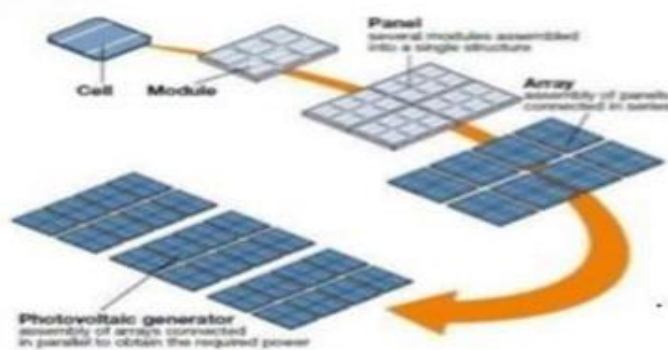
Solar cell atau sel surya adalah alat untuk mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik. Photovoltaic adalah teknologi yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. PV biasanya di kemas dalam sebuah unit yang di sebut modul. Dalam sebuah modul surya terdiri dari banyak sel surya yang bisa di susun secara seri maupun paralel. Sedangkan yang di maksud dengan surya adalah sebuah elemen semikonduktor yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atas dasar efek photovoltaic.



Gambar 2.8 solar cell(photovoltaic)

b. Modul Surya

Modul surya atau photovoltaic module merupakan komponen PLTS yang tersusun dari beberapa sel surya yang di rangkai sedemikian rupa, baik di rangkai seri maupun paralel dengan maksud dapat menghasilkan daya listrik tertentu dan di susun pada satu bingkai atau (frame) dan dilaminasi atau diberikan lapisan pelindung. Kemudian susunan dari beberapa modul surya yang terpasang sedemikian rupa pada penyangga di sebut array. PV modul yang terangkai seri dari sel sel surya di tunjukan untuk meningkatkan atau dalam hal ini dapat di katakan menggabungkan tegangan (VDC) yang di hasilkan setiap selnya. Sedangkan untuk arusnya dapat didesain sesuai kebutuhan dengan memperhatikan luas permukaan sel.



Gambar 2.9 Diagram Hbungan antara solar cell,modul,panel, dan array

c. Penyangga dan sistem pelacak (mounting and tracking system)

Modul surya harus terpasang pada suatu stuktur / kerangka, untuk menjaganya tetap terarah pada arah yang tepat, agar lebih tersusun rapi dan terlindungi. Struktur pemasangan modul surya bisa pada struktur yang tetap (fixed) atau dengan sistem pelacak sinar matahari atau biasanya di sebut tracking systems.

d. Inverter

Inverter merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mengubah arus DC menjadi arus AC. Pada PLTS ,inverter berfungsi sebagai pebgkondisi tenaga listrik (power condition) dan sistem kontrol yang merubah arus listrik searah (DC) yang di hasilkan oleh solar modul mendjadi listrik arus bolak-balik (AC), yang nantinya akan mengontrol kualitas daya listrik yang di dikeluarkan untuk di kirim ke beban atau jaringan listrik terdapat dua macam sistem inverter pada PLTS yaitu:

1. Inverter 1 fasa untuk sistem PLTS yang bebannya kecil
2. Inverter 3 fasa untuk sistem PLTS yang besar dan terhubung dengan jaringan PLN



Gambar 2.10 inverter

e. Solar charge controller(SCC)

Solar Charge Charge Controller adalah komponen di dalam PLTS yang berfungsi sebagai pengatur arus listrik (current regulator) baik terhadap arus yang masuk dari panel PV maupun arus beban

keluar/digunakan. Berfungsi untuk menjaga baterai dari pengisian yang berlebihan (over charge), dan mengatur tegangan serta arus dari panel surya ke baterai.



Gambar 2.11 SCC

f. Dan mendukung komuKabel

Kabel merupakan komponen-komponen penghantar yang terisolasi yang berfungsi untuk menghubungkan antara komponen satu dengan yang lainnya pada sebuah rangkaian kelistrikan pada pembangkit listrik tenaga surya (PLTS).

2.3 Faktor Pengisian

faktor pengisian adalah ukuran kualitas dari sel surya dapat diketahui dengan membandingkan daya maksimum teoritis dan daya output pada tegangan rangkaian terbuka dan hubungan pendek. Faktor pengisi yaitu parameter yang menyatakan seberapa besar $I_{sc} \times V_{oc}$ dari daya maksimum $V_m \times I_m$ yang di hasilkan sel surya.³

$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots\dots\dots(1)$$

- Dengan: FF = Faktor pengisi
- V_m = Tegangan maksimum (V)
- I_m = Arus maksimum (A)
- V_{oc} = Rangkaian tegangan terbuka (V)
- I_{sc} = Arus hubung singkat (A)

³ " Rifaldo Pido , dkk , " Analisa pengaruh Kenaikkan Temperatur Permukaan Sel Surya Terhadap Daya Keluaran " , Jurnal Infrastruktur & Teknik Sains Vol 2 , No.2 , Oktober 2019 , Hlm 33

Sukhatme dkk (2008), daya keluaran (P_{out}) pada sel surya yaitu besaran nilai dari hasil penilaian antara tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}). Dengan arus hubung singkat (I_{sc}) dan faktor pengisi (FF) Yaang di hasilkan oleh sel surya dapat di hitung dengan persamaan:

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \dots \dots \dots (2)$$

Dengan: P_{out} = Daya keluaran (W)
 V_{oc} = Rangkaian tegangan terbuka (V)
 I_{sc} = Arus hubung singkat (A)
FF = Faktor pengisi

2.4 Baterai Pada PLTS

Pengertian baterai adalah salah satu alat penting untuk menyimpan dan konversi energi yang bekerja berdasarkan pripsip elektrokimi⁴a. Jadi ,baterai sebenarnya merupakan sebuah sel elektrokimia. Jadi baterai sebenarnya merupakan sebuah sel elektrokimia, terdiri dari satu atau lebih sel dimana energi kimia di ubah menjadi energi surya hanya dapat di gunakan pada saat ada sinar matahari saja karena tidak ada alat penyimpan energinya.

Baterai merupakan salah satu komponen yang di gunakan pada sistem PLTS yang di lengkapi dengan penyimpanan cadangan energi listrik. Baterai memiliki fungsi untuk menyimpan energi listrik yang di hasilkan oleh panel surya dalam bentuk energi arus DC. Energi yang di simpan pada baterai berfungsi sebagai cadangan energi listrik, contohnya pada saat malam hari atau pada saat cuaca mendung, selain itu teggangan keluaran ke sistem cenderung lebih stabil.

⁴ Daryanto , " Pengetahuan Baterai Mobil Edisi Revisi " , Hlm . 37



Gambar 2.14 Baterai

Baterai merupakan salah satu komponen utama dalam sistem PLTS memegang peranan penting sebagai sumber listrik yang apabila lemah /soak seringkali menjadi penyebab terganggunya sistem PLTS. Mengapa baterai Valve-Regulated Lead-Acid Battery (VRLA) dapat direkomendasikan sebagai baterai tipe VRLA dalam sistem PLTS, selain bebas perawatan (maintenance free), karena baterai tipe ini memiliki katup untuk pertukaran gas sehingga suhu didalam baterai akan tetap terjaga dan umur (lifetime) baterai akan maksimal.

Meskipun harga baterai VRLA lebih mahal dari aki basah (Batterry Asam Timbal) tetapi umur pakai baterai lebih lama hingga 1 (satu) tahun lebih, dengan sistem pengisian dan beban yang sesuai dengan kapasitas baterai.

2.4.1 Fungsi dan jenis-Jenis Baterai Pada PLTS⁵

Baterai menyimpan energi listrik yang di hasilkan modul surya pada saat matahari bersinar dan baterai akan mengeluarkan kembali energi listrik pada saat modul surya tidak dapat lagi menghasilkan energi listrik. Pada kondisi normal baterai di pergunakan saat malam hari atau saat cuaca berawan atau mendung. Apabila terjadi daya energi beban di konsumen yang berlebih di waktu siang hari, baterai dapat di fungsikan untuk menambah beban yang di hasilkan oleh modul surya. Sifat baterai adalah menyimpan dan mengeluarkan energi dari proses reaksi kimia. Proses penyimpanan dan pengeluaran daya energi dalam besaran satuan

⁵ Ibid hlm. 39

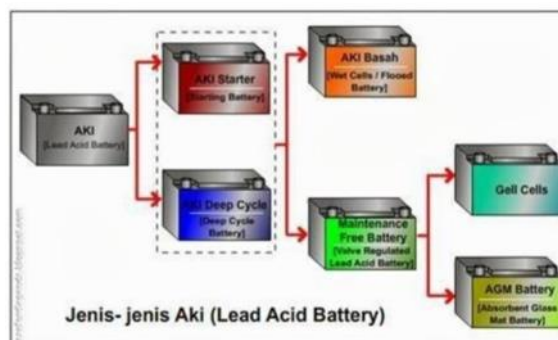
wattjam (*watthour*) listrik. Pengeluaran ini nantinya akan di pulihkan seperti semula di saat pengisian (*charging*) dari modul surya. Baterai terbentuk oleh sekelompok elemen atau sel yang di letakan secara seri. Baterai timbal-asam terdiri dari dua elektroda timbal yang berada dalam larutan elektrolit air dan asam sulfat. Baterai yang paling umum dalam aplikasi surya fotovoltaik mempunyai tegangan nominal sebanyak 2 volt, 12 volt dan 24 volt. Untuk sebuah baterai dengan tegangan 12 volt akan berisi 6 sel secara seri. Baterai memenuhi dua tujuan penting dalam sistem fotovoltaik meliputi:

1. Untuk memberi daya energi (wattjam) kepada sistem pembagian listrik tenaga surya ketika daya energi tidak di sediakan oleh PV *array* panel-panel surya
2. Untuk menyimpan kelebihan daya yang di timbulkan oleh panel –panel surya setiap kali daya itu melebihi beban

Baterai tersebut mengalami proses siklus menyimpan mengeluarkan daya energi tergantung pada ada atau tidak adanya sinar matahari. Selama waktu matahari ada, modul surya menghasilkan arus listrik dalam satuan ampere jam dengan segera di pergunakan untuk pengisian baterai. Apabila tidak adanya matahari pada malam hari khususnya permintaan akan daya energi *watthour* dari kapasitas baterai *amperhours* dengan tegangan nominal baterai 2 volt atau 12 volt. Siklus penyimpanan amperjam akan terjadi setiap kali sesuai intensitas iradasi matahari dan mengeluarkan amperjam terjadi setiap kali sesuai dengan penggunaan daya listrik untuk melayani beban konsumen, jika ada sinar matahari dengan iradasi matahari dan mengeluarkan amperjam terjadi setiap kali sesuai dengan penggunaan daya listrik untuk melayani beban konsumen, jika ada sinar matahari dengan iradasi yang cukup, baterai akan menyimpan amperjam (Ah) yang cukup dan pelayanan bebannya akan menjadi ringan. Oleh karena itu fungsi baterai pada malam hari akan mengeluarkan jumlah total daya wattjam yang di perlukan dari

amperehours dikalikan dengan total tegangan baterai 48 volt

Jika baterai tidak menyimpan cukup *amperehours* dan tegangan daya energi, maka tidak bisa memenuhi permintaan untuk melayani beban pada pengguna. Apabila tidak adanya matahari, matahari sistem akan kehabisan amperjam dan tegangan menurun ketitik terendah dan tidak siap memenuhi kebutuhan pengguna energi wattjam. Jika baterai tidak menyimpan cukup daya untuk memenuhi permintaan selama periode tidak adanya matahari, sistem akan kehabisan daya dan tidak siap memenuhi konsumsi. Salah satu cara dengan melakukan perkiraan jumlah hari dimana sistem beroperasi secara mandiri atau *number of days of autonomy* 3 sampai dengan 4 hari untuk menjamin pengaturan pengisian baterai (*charging*) dan pengeluaran (*discharge*) baterai yang baik. Untuk *state of charge* (SOC) baterai diukur berdasarkan pada tegangan sebenarnya dari baterai. Dengan mengukur tegangan baterai dan di program dengan tipe teknologi penyimpanan yang di gunakan oleh baterai, pengatur bisa mengetahui titik tepat dimana baterai akan mengalami pengisian (*charge*) sesuai dengan sinar matahari bersinar penuh atau pengeluaran (*dicharge*) yang berlebihan sesuai kebutuhan melayani beban listrik. Pada baterai *lead acid* salah satu jenis baterai yang menggunakan asam timbale (*lead acid*) sebagai bahan kimianya. Menurut bentuk struktur baterai di kelompokkan yang terdiri dari baterai *stater* dan baterai *deep cycle* seperti di tunjukan pada gambar berikut



Gambar 2.15 jenis-jenis baterai

2.4.1.1 Baterai /Aki Stater

Baterai stater adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang reversible (dapat berbalik) dengan efisiensinya yang tinggi, yang di maksud dengan proses elektrokimia *reversible* adalah di dalam baterai dapat berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia, pengisian kembali dengan cara regenerasi dari elektroda-elektroda yang di pakai, yaitu dengan melewatkan arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan di dalam sel. Konstruksi baterai stater didalam bentuk plat. Plat-plat tersebut di buat dari timah atau berasal dari timah. Karena itu baterai tipe ini sering di sebut baterai timah, ruangan di dalamnya di bagi menjadi beberapa sel (biasanya 6 sel untuk baterai mobil) dan di dalam masing- masing sel terdapat beberapa elemen yang terpendam di dalam elektrolit.

Jumlah tenaga listrik yang di simpan di dalam baterai dapat di gunakan sebagai sumber tenaga listrik tergantung pada kapasitas baterai dalam satuan *ampehouse* (Ah). Jika pada kotak baterai tertulis 12 volt 60 Ah, berarti baterai-baterai tersebut mempunyai tegangan 12 volt dimana jika baterai tersebut di gunakan selama 1 jam dengan arus pemakaian 60 ampere. Maka kapasitas baterai tersebut setelah 1 jam akan kosong (habis). Kapasitas baterai tersebut juga dapat menjadi kosong setelah 2 jam jika arus pemakaian hanya 30 ampere. Di sini terlihat bahwa lamanya pengosongan baterai ditentukan oleh besarnya pemakaian arus listrik dari baterai tersebut. Semakin besar arus yang di gunakan, maka akan semakin cepat terjadi pengosongan baterai dan sebaliknya, semakin kecil arus yang di gunakan maka akan semakin lama pula baterai mengalami pengosongan. Besarnya kapasitas baterai sangat di tentukan oleh luas permukaan plat atau banyaknya plat baterai. Jadi dengan bertambahnya luas plat atau dengan bertambahnya

jumlah plat baterai maka kapasitas baterai juga akan bertambah. Sedangkan tegangan accu di tentukan oleh jumlah daripada sel baterai, dimana satu sel biasanya dapat menghasilkan tegangan kira- kira 2-2,1 volt. Tegangan listrik yang terbentuk sma dengan jumlah tegangan listrik tiap-tiap sel. Jika baterai mempun yai eman sel, maka tegangan baterai standar tersebut adala 12 volt sampai 12.6 volt. Biasanya setiap sel baterai di tandai dengan adanya satu lubang pada kotan accu bagian atas untuk mangisi elektrolit aki setial sel seluruh dari beberapa plat positif dan plat negative. Kedua plat tersebut di pisahkan oleh separator agar tidak terjadi hubungan langsung (hubung singkat)

Dalam setiap sel baterai jumlah plat negatif lebih satu jika di bandingkan dengan plat positif. Kotak baterai adalah wadah yang menempung elektrolit dan elemen baterai. Pada kotak baterai terdpat garis tanda *upper level* dan *lower* sebagai indikator jumlah elektrolit. Seperti di tunjukan pada gambar berikut

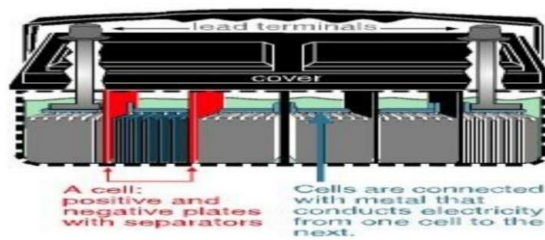


Gambar 2.16 konstruksi baterai stater

2.4.1.2 Baterai Deep Cycle

Baterai *Deep Cycle* di rancang untuk menghasilkan energi arus listrik yang tidak stabil tidak sbesar starting battery namun dalam waktu yang lama. Baterai jenis ini tahan terhadap siklus pengisian-pengosoangan baterai yang berulang-ulang. *Deep cycle* karena konstruksinya menggunakan pelat yang lebih tebal dan memungkinkan untuk melepaskan energi dalam selang waktu yang panjang. Baterai *Deep cycle* tidak dapat melepaskan energi listrik secepat dan sebesar batrai stater. Semakin tebal pelat baterai semakin panjang usia baterai

yang dapat di harapkan. Jenis ini juga banyak di gunakan pada proyek energi alternatif untuk menyimpan arus listrik seperti pada pembangkit listrik tenaga surya dan pembangkit listrik tenaga angin. Jenis baterai *Deep cycle* terdiri dari baterai VRLA (Valve Regulated Lead Acid Battery), Gel Cells Baterai dan Absorbent Glass Mat Battery (AGM Baterai). Seperti ditunjukkan pada gambar berikut



Gambar 2.17 Struktur Konstruksi Baterai Cycle

2.4.1.3 Baterai VRLA⁶

Accu kering merupakan bentuk pengembangan dari accu basah yang penggunaannya kini semakin populer. Secara fisik, perbedaannya dengan accu basah dapat di lihat melalui wadahnya yang berwarna gelap atau tidak transparan. Selain itu accu kering juga tidak memiliki lubang- lubang untuk mengisi air accu. Kontainer baterai VRLA tidak mempunyai penutup sel, dan bekerja pada tekanan konstan 1 sampai dengan 4 psi. Tekanan ini membantu mengembalikan 99^{0/0} hydrogen dan oksigen yang terbentuk pada proses charging / pengisian untuk kembali menjadi air. Jadi pada baterai VRLA tidak memungkinkan untuk di lakukan penambahan air. Jenis VRLA yang paling umum adalah Gel VRLA dan AGM VRL. Seperti di tunjukan pada gambar berikut

⁶ Abram Tangkemanda , dkk , " Aplikasi Teknik listrik dan elektronika pada alat berat " , Maret 2018 , Hlm 43



Gambar 2.18 konstruksi baterai VRLA

2.4.1.4 Baterai Gel VRLA

Baterai Gel VRLA adalah baterai VRLA dengan elektrolit *gelfied*, asam sulfat di campur dengan silika diasapi, yang membuat massa yang di hasilkan menyerupai gel dan bisa bergerak berbeda dengan *flooded* baterai sel basah timbale asam, baterai ini tidak perlu di simpan tetap tegak. Baterai gek mengurangi penguapan elektrolit, tidak tumpah (dan masalah korsi berikutnya)bersamaan untuk bateraiwet sel, dengan resistansi yang lebih besar untuk *shok* dan vibrasi. Kimia baterai gel VRLA basah baterai (*non sealed*) sama sekali bahwa antimony dalam piring timbal di gantikan oleh kalsium dan rekobinasi gas dapat berlangsung. Baterai OpzV adalah konstruksi sel tunggal dengan teagangan nominal adalah 2 volt. Misalkan kita mengambil OpzV2-200”berarti *sealed baterai GelOpV* tersebut mempunyai tegangan 2 volt dan 200 Ah. Baterai Gel OpzV memiliki strukturantara lain :

1. Plat positif : Baterai mengadopsi piring positif tubular. *Grid* positif yang di buat oleh *die –casting* teknik dengan tekanan 18 Mpa dan struktur silinder lebih kompak dan memberikan kebaikan korosi resistansi dengan ekstrim tinggi siklus harapan usia baterai dan umur baterai desain lebih lama dari 20 tahun.
2. Elektrolit : GEL terdiri SiO₂, yang merupakan sel cair yang di suntikan dan sampai penuh ke dalam baterai dan akhirnya

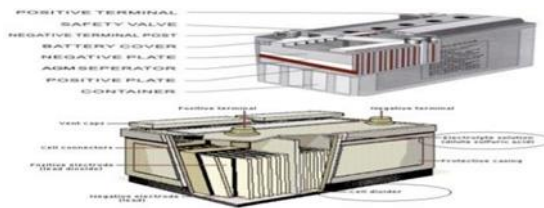
elektrolit menjadi tidak mengalir, tidak ada kebocoran stratifikasi, dan keamanan yang lebih tinggi. *Desain flooded* elektrolit bersisi lebih banyak elektrolit dari baterai AGM ; ruang antara piring pemisah penuh elektrolit sehingga bisa disipasi panas baik, tahan terhadap pengisian berlebihan (*overcharge*), stabil terhadap suhu tinggi dan menghindari “pelepasan panas yang berlebihan “

3. Kontainer baterai terbuat dari kekuatan tinggi. Dengan kualitas kontiner dan tutup di segel bersama-sama dengan perekat untuk memastikan kinerja penyegelan handal dan pelayanan.
4. Keselamatan *velve* katup pengaman sensitivitas tinggi memiliki kinerja yang stabil di *flip-top* ventilasi busi pers;berekarja sma dengan arrester api itu membuat baterai lebih aman dan telah rekomendasi tinggi *effeciency electrolyte* baterai ruang interior dpat memobilized dlam struktur GEL sehingga lebih 25% kinerja baterai.

5.

2.4.1.5 Baterai AGM VRLA

Baterai AGM berbeda dari *flooded* baterai asam timbale dlam elektrolit diadakan di alas kaca, di dibandingkan dengan bebas membanjir dalam elektrolit diadakan di alas kaca, di dibandingkan dengan bebas membanjir piring fiber kaca tipis yang di tenun menjadi matras untuk meningkatkan luas permukaan yang cukup untuk menahan elektrolit yang cukup pada sel-sel untuk seumur mereka (*lifetime*). Fiber yang membentuk matras kaca baik tidak baterai menyerap yang juga tidak terpengaruh oleh elektrolit asam. Alas ini di peras 2-5% setelah di rendam dalam asam, sebelum penyelesaian memproduksi dan penyegelan. Dalam pelat AGM baterai mungkin apapun bentuknya. Beberapa yang datar, yang lain bengkok atau gulung. Baterai AGM baik dalam siklus dan awal, yang di bangun dalam case persegi panjang dengan spepikasi kode baterai BCL. Seperti pada gambar berikut



Gambar 2.19 Konstruksi Baterai AGM VRLA

2.4.1.6 Instruksi Keselamatan Ketika Bekerja Dengan Baterai

Berikut adalah tindakan keselamatan dan kesehatan kerja dalam hal instruksi keselamatan ketika bekerja dengan baterai untuk pengomprasian sebuah unit PLTS terpusat:

1. Pastikan daerah sekitar baterai berventilasi baik.
2. Jangan meroko atau membiarkan percikan api di dekat baterai.
3. Jangan manjatuhkan alat logam ke baterai. Karena ini mungkin memicu konsleting listrik pada baterai atau bagianlainya yang mampu menyebabkan ledakan
4. Lepaskan semua item logam seperti cincin, gelang dan jam tangan ketiak bekerja dengan baterai
5. Bekerjalah dekat dekat dengan seseorang agar jika anda butuh pertolongan bisa segera ada yang membantu anda katika anda sedang bekerja dengan baterai
6. Pakailah pelindung lengkap dan pelindung pakaian. Jangan menyentuh mata anda saat sedang bekerja di dekat baterai.
7. Jika baterai asam kontak dengan kiut atau pakaian, segera cuci dengan sabu dn air. Jika asam terkena mata anda segera basuh air dingin minimal 20 menit dan segeraa periksakan ke medis.
8. Jangan mengisi baterai beku.
9. Ketika menghubungkan baterai, selelu pastikan bahwa polaritas tegangan sudah benar dan selelu mendaur ulang baterai tua. Hubungi pusat daur ulang lokal anda untuk informasi pembuangan

2.5 Prinsip Kerja Baterai

Baterai merupakan salah satu komponen yang digunakan pada sistem *solar cell* yang dilengkapi dengan penyimpanan cadangan energi listrik. Baterai memiliki fungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dalam bentuk energi arus searah. Energi yang disimpan pada baterai berfungsi sebagai cadangan (*back up*), yang biasanya dipergunakan pada saat panel surya tidak menghasilkan energi listrik, contohnya pada saat malam hari atau pada saat cuaca mendung, selain itu tegangan keluaran ke sistem cenderung lebih stabil. Satuan kapasitas energi yang disimpan pada baterai adalah ampere hour (Ah), yang diartikan arus maksimum yang dapat dikeluarkan oleh baterai selama satu jam. Namun dalam proses pengosongan (*discharge*), baterai tidak boleh dikosongkan hingga titik maksimumnya, hal ini dikarenakan agar baterai dapat bertahan lebih lama usia pakainya (*life time*), atau minimal tidak mengurangi usia pakai yang ditentukan.

2.7 Pengoperasian Baterai Pada PLTS

2.7.1 Pelepasan Energi (Discharging)

Pada saat pelepasan energi baterai, tegangan rangkaian tertutup (closed-circuit voltage, CCV) dari baterai penurunan awal disebabkan oleh rugi-rugi hambatan (ohmic losses). Tegangan tersebut menurun secara bertahap tergantung pada karakteristik baterainya, hingga terjadi pemutusan karena tegangan yang rendah (low voltage disconnection, LVD). Dalam hal ini, beban harus diputus untuk menghindari pelepasan energi sampai habis (deep discharge) dari baterai sehingga menurunkan konsentrasi asam di dalam elektrolit dan timbul sulfidasi pada terminal baterai.

2.7.2 Hal Yang Harus Diperitimbangkn Ketika Menggunakan Baterai

- a. Hindari pemakaian baterai sampai habis sebaiknya paling sedikit 1,95V per sel dengan waktu pemakaian hingga 24 jam.

Hal ini berarti tahanan sistem sebesar 48V, tahanan pelepasan terakhir sebesar 46,8 V

- b. Baterai tidak boleh di isi dengan arus yang terlalu tinggi. Semakin tinggi arus maka semakin cepat tahanan menurun, sehingga LVD akan di capai lebih cepat. Energi total yang dapat diambil juga menurun.

2.8 Cara dan Tindakan Pemeliharaan Baterai

- a. Pemeriksaan kebersihan
Pemeriksa apakah ruangan baterai beserta baterai dalam kondisi bersih. Jika membersihkan dari debu, gunakan kuas kering atau kemoceng
- b. Periksa kebocoran cairan pada baterai dan koneksi terminal
 - Periksa setiap baterai apakah terdapat kebocoran elektrolit. Jika terdapat kebocoran dan di temukan oksidasi (kerak putih) segera laporkan ke teknisi atau ke dosen pembimbing dan hati-hati dengan cairannya.
 - Periksa apakah terminal baterai terlindung bahan isolator, kencang, tidak berkarat dan tidak terjadi oksidas. Jika tidak terlindung segera pasang isolator pada baterai dan kencangkan
- c. Periksa suhu
 - Periksa suhu baterai dengan alat ukur apakah suhu setiap baterai tidak ada yang menyimpang jauh dari baterai yang lain. Jika terjadi perbedaan suhu yang menyimpang jauh antar baterai segera periksa setiap baterai dan cari baterai yang mengalami kebocoran dan segera laporkan ke teknisi atau dosen pembimbing.
 - Periksa suhu dan kelembapan di ruangan baterai dengan alat ukur, apakah suhu baterai melebihi 30°C suhu dan kelembapan di luar ruangan

d. Pemeriksaan fisik

Periksa apakah ada perubahan fisik baterai (gembung , retaj , dll) jika terjadi perubahan fisik baterai segera hubungi dosen pembimbing atau teknisi tentang langkah apa yang harus di lakukan .

2.9 Rangkaian Pada Baterai

a. Rangkaian Seri

Rangkaian seri atau modul surya akan meningkatkan tegangan (voltage) keluaran sedangkan kuat arus listriknya (ampere) akan tetap sama rangkaian listrik seri sumber arus seraha dapat di lihat pada gambar berikut



Gambar 2.20 Rangkaian Seri Baterai

Dari gambar di atas, 4 buah baterai masing-masing menghasilkan *current* atau kapasitas arus listrik (ampere) yang sama seperti arus listrik pada 1 buah baterai, namun tegangan yang di hasilkan menjadi 4 kali lipat dari tegangan 1 buah baterai yang di maksud dengan tegangan dalam elektronika adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik yang di nyatakan di dalam satuan volt.

Seperti yang di gambarkan pada gambar seperti gambar diatas, 4 buah baterai yang masing- masing bertegangan 1,5 Volt dan 1.000 miliampere per jam (mAh).

Secara matematis di tuliskan:

$$V_{tot} = V_{bat1} + V_{bat2} + V_{bat3} + V_{bat4} + \dots$$

$$V_n I_{tot} = I_{bat1} + I_{bat2} + I_{bat3} + I_{bat4} + \dots$$

In Dimana:

V_{tot} = Tegangan total

V_{bat1} = Tegangan baterai 1

V_{bat2} = Tegangan baterai 2

V_{bat3} = Tegangan baterai 3

V_{bat4} = Tegangan baterai 4

V_n = Tegangan baterai ke- n

I_{tot} = kuat arus baterai total

I_{bat1} = Kuat arus baterai 1

I_{bat2} = Kuat arus baterai 2

I_{bat3} = Kuat arus baterai 3

I_{bat4} = Kuat arus baterai 4

I_n = Kuat arus baterai ke - n

Sehingga :

$$V_{Tot} = 1,5 \text{ V} + 1,5 \text{ V} + 1,5\text{V} + 1,5\text{V}$$

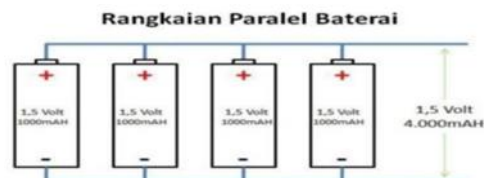
$$V_{Tot} = 6\text{V}$$

Dan

$$I_{Tot} = 1000 \text{ mAh}$$

b. Rangkaian P aralel

Rangkaian paralel baterai atau modul surya akan meningkatkan arus listrik (ampere) tetapi Tegangan (Voltage) output / keluarannya akan tetap sama. Rangkaian dapat di lihat pada gambar barikut



Gambar 2. 21 Rangkaian paralel baterai

Dari 4 buah baterai pada gambar diatas tegangan yang di hasilkan dari

rangkaian parallel adalah sama yaitu 1,5 Volt tetapi *current* atau kapasitas arus listrik yang di hasilkan adalah 4.000mAh(mili ampere per jam) yaitu total dari semua kapsitas arus listrik pada baterai.

Secara matematis dapat di tuliskan :

$$I_{tot} = I_{bat1} + I_{bat2} + I_{bat3} + I_{bat4} + \dots + I_n$$

$$V_{tot} = V_{bat1} + V_{bat2} + V_{bat3} + V_{bat4} + \dots + V_n$$

Sehingga:

$$I_{tot} = 1.000\text{mAh} + 1.000\text{mAh} + 1.000\text{mAh} + 1.000\text{mAh}$$

$$I_{tot} = 4.000\text{mAh}$$

Dan

$$V_{tot} = 1,5 \text{ Volt}$$

2.10 Perhitungan Baterai

a. Perhitungan Berapa Lama Baterai/Aki Dapat Membackup Beban dan Lamanya Waktu Pengisian Baterai/Aki

Lamanya baterai dapat memback-up beban dan lamanya waktu pengisian baterai/aki dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

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

Dimana :

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt) I = Arus (Ampere)