

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Salah satu sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) off-grid. Suatu PLTS yang dikelola secara komunal atau yang sering disebut sistem PLTS berdiri sendiri (*Stand Alone*), beroperasi secara independen tanpa terhubung ke jaringan PLN. Sistem PLTS ini hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian photovoltaic module untuk menghasilkan energi listrik sesuai kebutuhan. Sistem ini membutuhkan baterai untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan di siang hari untuk memenuhi kebutuhan listrik di malam hari.

2.2 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Prinsip kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Off-Grid dapat diuraikan sebagai berikut:

Pada PLTS sistem terpusat ini, sumber energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya (PV) pada siang hari akan disimpan dalam baterai. Proses pengisian energi listrik dari PV ke baterai diatur oleh Solar Charge Controller agar tidak terjadi *over charge*. Besar energi yang dihasilkan oleh PV sangat tergantung kepada intensitas penyinaran matahari yang di terima oleh PV dan efisiensi cell. Intensitas matahari mencapai 2000W/m², dengan efisiensi cell 14% maka daya yang dapat dihasilkan oleh PV adalah sebesar 280W/m².

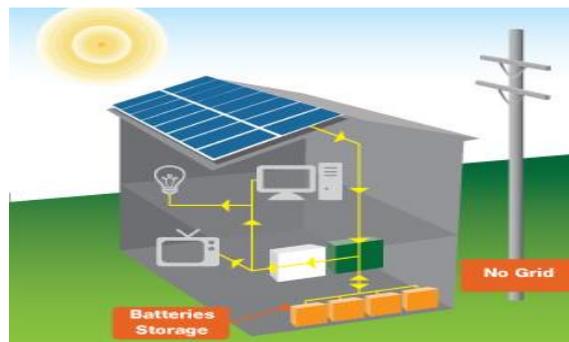
Selanjutnya energi tersimpan dalam baterai digunakan untuk menyuplai beban melalui inverter saat dibutuhkan. Inverter mengubah tegangan DC pada sisi baterai menjadi tegangan AC pada sisi beban.

Pada sistem DC coupling, energi yang dihasilkan modul surya pada kondisi tersebut digunakan untuk mengisi baterai melalui Solar Charge Controller (SCC) terlebih dahulu, baru kemudian disalurkan ke beban (konsumen) melalui inverter.

b. Siang Hari pada saat Energi PLTS lebih kecil dari kebutuhan beban

Kondisi ini dapat terjadi apabila :

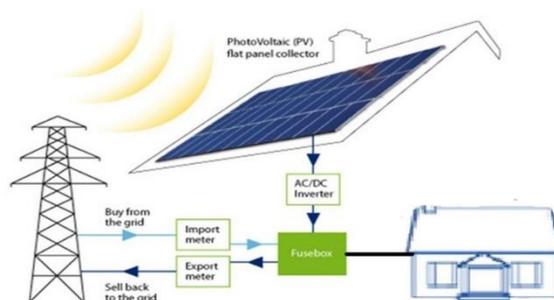
- Saat kondisi berawan atau mendung .
 - Saat sore hari menjelang matahari terbenam
 - PLTS akan menghasilkan energi listrik dari matahari namun tidak maksimal
- Diagram aliran energi yang dihasilkan pada kondisi berawan/mendung dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Diagram Aliran Energi yang dihasilkan pada kondisi Berawan /mendung

c. Malam Hari

Pada malam hari sumber energi matahari tidak dapat dimanfaatkan lagi, oleh karena itu beban akan disuplai oleh baterai. Energi yang tersimpan dalam baterai pada siang hari akan dipergunakan untuk menyuplai beban saat dibutuhkan 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 pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Diagram Aliran Energi pada malam hari

2.4 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)

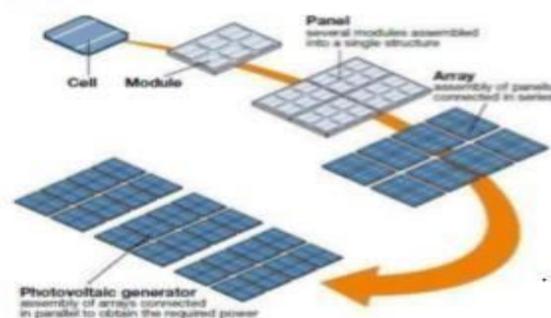
Solar cell atau sel surya adalah alat untuk mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik. Photovoltaic adalah teknologi yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. PV biasanya dikemas dalam sebuah unit yang disebut modul. Dalam sebuah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



Gambar 2.5 Solar Cell (photovoltaic)

b. Modul Surya

Modul surya atau photovoltaic modul merupakan komponen PLTS yang tersusun dari beberapa sel surya yang dirangkai sedemikian rupa, baik dirangkai seri maupun paralel dengan maksud dapat menghasilkan daya listrik tertentu dan disusun pada satu bingkai (frame) dan dilaminasi atau diberikan lapisan pelindung. Kemudian susunan dari beberapa modul surya yang terpasang sedemikian rupa pada penyangga disebut array. PV modul yang dirangkai seri dari sel-sel surya ditunjukkan untuk meningkatkan, atau dalam hal ini dapat dikatakan menggabungkan tegangan (VDC) yang dihasilkan setiap selnya. Sedangkan untuk arusnya dapat didesain sesuai kebutuhan dengan memperhatikan luas permukaan sel.



Gambar 2.6 Diagram Hubungan antara Solar Cell, Modul, Panel dan Array

c. Penyangga dan Sistem Pelacak (*Mounting and Tracking System*)

Modul surya harus terpasang pada suatu struktur/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 disebut tracking systems.

d. Inverter

Inverter merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mengubah arus DC menjadi arus bolak-balik (AC) yang merubah arus listrik searah (DC) yang dihasilkan oleh solar modul menjadi listrik arus bolak-balik (AC), yang nantinya akan mengontrol kualitas daya listrik yang dikeluarkan untuk dikirim ke beban atau

jaringan listrik. Terdapat dua macam inverter pada arus AC. Pada PLTS, Inverter berfungsi sebagai pengkondisi tenaga listrik (*power condition*) dan sistem PLTS yaitu:

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



Gambar 2.7 Inverter

e. Solar Charge Controller (SCC)

Solar Charge Controller adalah komponen di dalam sistem 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 2.8 Solar Charge Controller (SCC)

f. Combiner Box

Combiner box berfungsi sebagai panel listrik arus searah (DC) yang menggabungkan keluaran dari beberapa string modul surya menjadi satu. Berfungsi juga sebagai panel isolasi dan proteksi terhadap arus/tegangan lebih dan petir.



Gambar 2.9 *Combiner Box*

g. Sistem Monitoring

Sistem Monitoring Mencatat, merekam, menampilkan dan memonitor data-data parameter serta informasi sistem PLTS. Sistem monitoring dapat diakses dari jarak jauh melalui jaringan data yang ada. Alat ini lebih sering dikenal sebagai *Remote Monitoring System (RMS)*.



Gambar 2.10 Sistem Monitoring

h. Panel Distribusi AC

Panel distribusi tegangan rendah 3 Fasa arus bolak-balik (AC) yang berfungsi menyalurkan daya dari pembangkit ke beban. Panel ini umumnya

terdiri dari beberapa output feeder.



Gambar 2.11 Panel Distribusi AC

i. Panel Surya Monocrystalline

Tipe panel surya monocrystalline dibuat dengan silikon yang dibentuk menjadi batangan dan diiris. Jenis panel ini bisa disebut ‘monocrystalline’ untuk membuktikan bahwa silikon yang dipakai ialah silikon monocrystalline. Panel ini memiliki efisiensi sekitar 15-20% dan berkinerja lebih baik dalam suhu tinggi dan kondisi yang teduh. Karena sel terbuat dari kristal tunggal, elektron yang menghasilkan listrik punya lebih banyak ruang untuk mengalir. Maka dari itu, panel monocrystalline lebih efisien dari pada saingannya yaitu polycrystalline.



Gambar 2.12 Panel Jenis Monocrystalline

j. Automatic Transfer Switch (ATS)

Secara umum fungsi dari ATS adalah untuk menghubungkan beban dengan dua sumber tenaga (sumber utama & sumber cadangan) atau lebih yang terpisah yang bertujuan untuk menjaga ketersediaan dan keandalan aliran daya menuju beban. Secara sederhana fungsi ATS adalah untuk melakukan transfer daya secara

otomatis ke beban, dari sebuah sumber utama (jaringan listrik) ke sumber cadangan ketika terjadi gangguan pada sumber utama. Secara luas ATS telah diaplikasikan di industri maupun perkantoran yang membutuhkan sistem kelistrikan dengan tingkat keandalan yang tinggi.



Gambar 2.13 Automatic Transfer Switch (ATS)

k. Kabel

Kabel merupakan komponen penghantar yang terisolasi yang berfungsi untuk menghubungkan antara komponen satu dengan yang lainnya pada sebuah rangkaian kelistrikan pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).



Gambar 2.14 Kabel

2.5 Baterai Pada PLTS

Pengertian baterai berdasarkan SNI 8395:2017 adalah alat yang terdiri dari satu atau lebih sel dimana energi kimia diubah menjadi energi listrik dan digunakan sebagai penyimpanan energi listrik. Tanpa baterai maka energi surya hanya dapat digunakan pada saat ada sinar matahari saja karena tidak ada alat penyimpan energinya.

Baterai merupakan salah satu komponen yang digunakan pada sistem PLTS yang dilengkapi dengan penyimpanan cadangan energi listrik. Baterai memiliki fungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dalam bentuk energi arus DC. Energi yang disimpan pada baterai berfungsi sebagai cadangan (*back up*), yang biasanya digunakan 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.



Gambar 2.15 Baterai

Baterai merupakan salah satu komponen utama dalam sistem PLTS yang memegang peranan penting sebagai sumber listrik, yang apabila lemah/soak seringkali menjadi penyebab terganggunya system PLTS, bahkan dapat mengakibatkan kerusakan pada komponen-komponen lainnya, baik dalam aplikasi (*Solar Home System*) SHS maupun dalam aplikasi lampu Jalan Tenaga Surya. Mengapa baterai *Valve-Regulated Lead-Acid Battery* (VRLA) dapat direkomendasikan sebagai baterai tipe VRLA dalam system 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 (*Battery Asam Timbal*) tetapi umur pakai baterai lebih lama hingga 1 (satu) tahun lebih, dengan sistem pengisian dan beban yang sesuai dengan kapasitas baterai.

2.5.1 Fungsi dan Jenis-jenis Baterai Pada PLTS

Baterai menyimpan energi listrik yang dihasilkan 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 dipergunakan saat malam hari atau saat cuaca berawan atau mendung. Apabila terjadi daya energi beban di konsumen yang berlebih di waktu siang hari, baterai dapat difungsikan untuk menambah beban yang dihasilkan oleh modul surya. Sifat baterai adalah menyimpan dan mengeluarkan energi dari proses reaksi kimia. Proses penyimpanan dan pengeluaran daya energi dalam besaran satuan wattjam (*watthour*) listrik. Pengeluaran ini nantinya akan dipulihkan seperti semula disaat pengisian (*charging*) dari modul surya. Baterai terbentuk oleh sekelompok elemen atau sel yang diletakan 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.

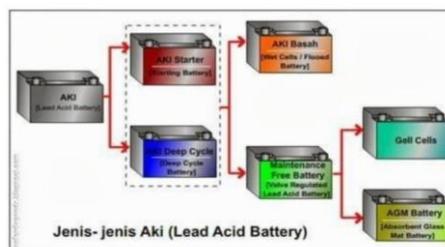
Baterai memenuhi dua tujuan penting dalam system fotovoltaik meliputi:

1. Untuk memberikan daya energi (Wattjam) kepada sistem pembagian listrik tenaga surya ketika daya energi tidak disediakan oleh PV *array* panel-panel surya.
2. Untuk menyimpan kelebihan daya yang ditimbulkan oleh panel-panel surya setiap kali daya itu melebihi beban.

Baterai tersebut mengalami proses siklus menyimpan dan 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 dipergunakan 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 iradiasi matahari dan mengeluarkan Amperjam terjadi setiap kali sesuai dengan penggunaan daya

listrik untuk melayani beban konsumen, jika ada sinar matahari dengan iradiasi 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 diperlukan dari *Amperehours* dikalikan dengan total tegangan baterai yang 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, sistem akan kehabisan Amperjam dan tegangan menurun ketitik terendah dan tidak siap memenuhi kebutuhan penggunaan energi Wattjam. Jika baterai tidak menyimpan cukup daya untuk memenuhi permintaan selama periode tidak adanya matahari, system 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 deprogram dengan tipe teknologi penyimpanan yang digunakan oleh baterai, pengatur bisa mengetahui titik tepat dimana baterai akan mengalami pengisian (*charge*) sesuai dengan sinar matahari bersinar penuh atau pengeluaran (*discharge*) yang berlebihan sesuai kebutuhan melayani beban listrik. Menurut bentuk struktur baterai dikelompokkan yang terdiri dari baterai *starter* dan baterai *deep cycle* seperti ditunjukkan pada gambar 2.16 mengenai jenis-jenis Baterai.



Gambar 2.16 Jenis-Jenis Baterai

2.5.1.1 Baterai Stater

Baterai stater adalah adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang *reversible* (dapat berbalik) dengan efisiensinya yang tinggi, yang dimaksud 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 dipakai, yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah (polaritas) yang berlawanan di dalam sel. Konstruksi baterai stater didalam wadahnya terdapat elektrolit asam sulfat, elektroda positif dan negatif dalam bentuk plat. Plat-plat tersebut dibuat dari timah atau berasal dari timah. Karena itu baterai tipe ini sering disebut baterai timah, ruangan didalamnya dibagi menjadi beberapa sel(biasanya 6 sel, untuk baterai mobil) dan didalam masing-masing sel terdapat beberapa elemen yang terendam didalam elektrolit.

Jumlah tenaga listrik yang disimpan dalam baterai dapat digunakan sebagai sumber tenaga listrik tergantung pada kapasitas baterai dalam satuan *Amperhours* (Ah). Jika pada kotak baterai tertulis 12 Volt 60 Ah, berarti baterai-baterai tersebut mempunyai tegangan 12 Volt dimana jika baterai tersebut digunakan 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. Disini terlihat bahwa lamanya pengosongan baterai ditentukan oleh besarnya pemakaian arus listrik dari baterai tersebut. Semakin besar arus yang digunakan, maka akan semakin cepat terjadi pengosongan baterai, dan sebaliknya, semakin kecil arus yang digunakan, maka akan semakin lama pula baterai mengalami pengosongan. Besarnya kapasitas baterai sangat ditentukan 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 ditentukan oleh numlah daripada sel baterai, dimana satu sel baterai biasanya dapat menghasilkan tegangan kira-kira 2 sampai 2,1 Volt. Tegangan listrik yang terbentuk sama dengan jumlah tegangan listrik tiap-tiap sel. Jika baterai mempunyai enam sel, maka tegangan bateraistandar tersebut adalah 12 Volt sampai 12,6 Volt. Biasanya setiap sel baterai ditandai dengan adanya satu lubang pada kotak accu bagian atas untuk mengisi elektrolit aki. Setiap sel terdiri dari beberapa plat positif dan plat negatif. Kedua plat tersebutdipisahkan oleh separator agar tidak terjadi hubungan langsung (hubungan singkat).

Dalam setiap sel baterai jumlah plat negatif lebih satu jika dibandingkan dengan plat positif. Kotak baterai adalah wadah yang menampung elektrolit dan elemenbaterai. Ruangan didalamnya dibagi menjadi ruangan sesuai dengan jumlah selnya. Pada kotak baterai terdapat garis tanda *upper level* dan *lower level*, sebagai indikator jumlah elektrolit. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.17 mengenai konstruksi baterai stater.

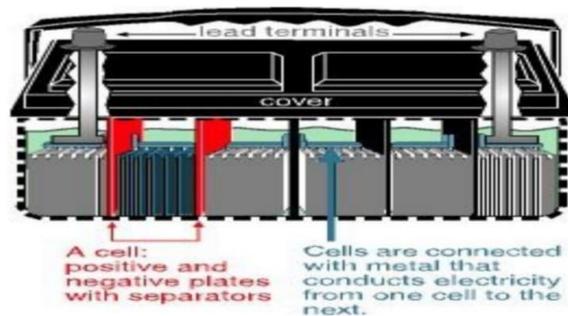


Gambar 2.17 Konstruksi Baterai Stater

2.5.1.2 Baterai *Deep Cycle*

Baterai *deep cycle* dirancang untuk menghasilkan energi arus listrik yang stabil sebesar tidak sebesar *starting battery* namun dalam waktu yang lama. Baterai jenis ini tahan terhadap siklus pengisian-pengosongan 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 baterai starter. Semakin tebal pelat baterai semakin panjang usia baterai yang dapat diharapkan. Jenis ini juga banyak digunakan 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 2.18 mengenai konstruksi baterai *deep cycle*.



Gambar 2.18 Struktur Konstruksi Baterai *Deep Cycle*

2.5.1.3 Baterai VRLA

Kotak baterai box yang tertutup rapat dan dilengkapi dengan sebuah value/katub, yang akan terbuka jika tekanan gas hasil elektrolisa air melebihi suatu harga tekanan tertentu, untuk melepaskan gas keluar kontainer. Kontainer jenis ini lebih dikenal dengan VRLA (*Valve regulated Lead Acid*). Kontainer baterai VRLA tidak mempunyai penutup sel, dan bekerja pada tekanan konstan 1 sampai dengan 4 psi. tekanan ini membantu mengembalikan 99% hydrogen dan oksigen yang terbentuk pada proses *charging*/pengisian untuk kembali menjadi air. Jadi pada baterai VRLA tidak memungkinkan untuk dilakukan penambahan air. Jenis VRLA yang paling umum adalah Gel VRLA dan AGM VRLA. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.19 mengenai konstruksi baterai VRLA.



Gambar 2.19 Konstruksi Baterai VRLA

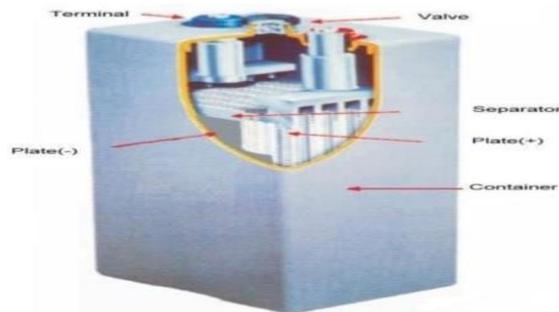
2.5.1.4 Baterai Gel VRLA

Baterai Gel VRLA adalah baterai VRLA dengan elektrolit *gelified*, asam sulfat dicampur dengan silika diasapi, yang membuat massa yang dihasilkan menyerupai gel dan bisa bergerak. Berbeda dengan *flooded* baterai sel basah timbale asam, baterai ini tidak perlu disimpan tetap tegak. Baterai gel mengurangi penguapan elektrolit, tidak tumpah (dan masalah korsir berikutnya) bersamaan untuk bateraiwet sel, dengan resistansi yang lebih besar untuk *shock* dan vibrasi. Kimia baterai gel VRLA basah baterai (*non sealed*) sama kecuali bahwa antimony dalam piring timbal digantikan oleh kalsium, dan rekombinasi gasdapat berlangsung. Baterai OPzV adalah konstruksi sel tunggal dengan tegangan nominal adalah 2 Volt. Misalkan kita mengambil OPzV2-200 “berarti *sealed baterai GelOpzV* tersebut mempunyai tegangan 2Volt dan 200 Ah. Baterai Gel OpzV memiliki strukturantara lain :

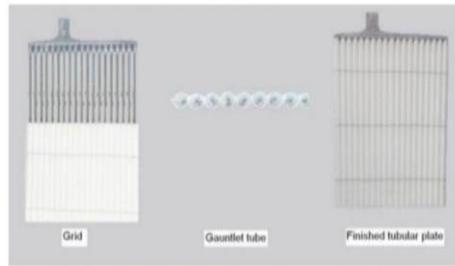
1. Plat Positif : Baterai mengadopsi piring positif tubular. *Grid* positif yang dibuat oleh *die-casting* teknik dengan tekanan 18 Mpa dan struktur silinder lebih kompak dan memberikan kebaikan korosiresistansi dengan ekstrim tinggi siklus harapan usia baterai danumur baterai desain lebih lama dari 20 tahun.
2. Elektrolit : GEL terdiri SiO₂, yang merupakan sel cair yang disuntikkan dan sampai penuh ke dalam baterai dan akhirnya elektrolit menjadi tidak mengalir, tidak ada kebocoran,

stratifikasi, dan keamanan yang lebih tinggi. *Desain flooded* elektrolit berisi lebih banyak elektrolit dari baterai AGM; ruang antara piring dan pemisah penuh elektrolit sehingga bisa disipasi panas yang 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 kontainer dan tutup disegel bersama-sama dengan perekat untuk memastikan kinerja penyegelan handal dalam pelayanan.
4. Keselamatan *valve* katup pengaman sensitivitas tinggi memiliki kinerja yang stabil di *flip-top* ventilasi busi pers; bekerja sama dengan arrester api itu membuat baterai lebih aman dan telah rekombinasi tinggi *efficiency electrolyte* baterai ruang interior dapat memobilized dalam struktur GEL, sehingga lebih dari 25% kinerja baterai. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.20 dan 2.21 mengenai *Tubular Deep Cycle Gel* Baterai OPzV 2 Volt dan *Plate Tubular Baterai Gel OPzV 2 Volt*.



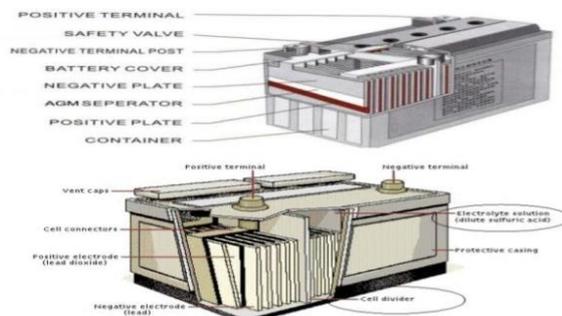
Gambar 2.20 *Tubular Deep Cycle Gel* Baterai OPzV 2 Volt



Gambar 2.21 Plate Tubular Baterai Gel OPzV 2 Volt

2.5.1.5 Baterai AGM VRLA

Baterai AGM berbeda dari *flooded* baterai asam baterai asam timbale dalam elektrolit diadakan di alas kaca, dibandingkan dengan bebas membanjir piring.sangat fiber kaca tipis yang ditunen 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 diperas 2-5% setelah direndam dalam asam, sebelum penyelesaian memproduksi dan penyegelan. Dalam pelat AGM baterai mungkin apapun bentuknya. Beberapa yang datar, yang lain bengkak atau digulung. Baterai AGM, baik dalam siklus dan awal, yang dibangun dalam case persegi panjang dengan spesifikasi kode baterai BCI. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.22 mengenai Konstruksi Baterai AGM VRLA.



Gambar 2.22 Konstruksi Baterai AGM VRLA

2.5.1.6 Instruksi Keselamatan Ketika Bekerja Dengan Baterai

Berikut adalah tindakan Keselamatan dan Kesehatan Kerja dalam hal Instruksi Keselamatan ketika bekerja dengan Baterai untuk pengoperasian sebuah unit PLTS Terpusat:

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

2.6 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 Teori Pengisian (*Charging*) dan Pengosongan (*Discharging*)

Baterai berguna untuk menyimpan energi, maka dari itu baterai akan mengalami siklus charging atau pengisian muatan. Siklus charging baterai adalah dari panel surya akan mengalirkan arus ke baterai. Sedangkan siklus discharging atau pelepasan muatan yaitu baterai akan mengalirkan arus menuju beban.

Nilai *charging* (ampere) adalah sejumlah muatan yang diberikan pada baterai persatuan waktu. Sedangkan *discharging* (ampere) adalah sejumlah muatan yang digunakan kerangkaian luar atau beban yang diambil dari baterai. nilai charging dan discharging dinyatakan dalam arus. Besarnya tergantung pada kapasitas dari baterai dan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk proses tersebut. Nilai discharge ditentukan dengan membagi kapasitas baterai (Ah) dengan jam yang dibutuhkan untuk charging/ discharging baterai.

Terdapat 2 proses yang terjadi dalam baterai yaitu :

1. Proses Pengisian

Proses pengisian adalah proses perubahan energi listrik menjadi kimia. Pada proses pengisian menurut gambar dibawah adalah bila sel dihubungkan dengan *power supply* maka elektroda positif menjadi anoda dan

elektroda negative menjadi katoda.

Proses kimia yang terjadi adalah sebagai berikut :

- a. Aliran electron menjadi terbalik, mengalir dari anoda melalui power supply menuju ke arah katoda.
- b. Ion negatif mengalir dari katoda menuju ke arah anoda.
- c. Ion positif mengalir dari anoda menuju ke arah katoda.

Baterai yang menerima arus adalah baterai yang sedang di charge atau sedang diisi dengan cara dialirkan listrik DC. Kutub positif baterai dihubungkan dengan arus listrik positif sedangkan kutub negatif baterai dihubungkan dengan arus listrik negatif.

Proses pengisian ini berlawanan dengan proses pengosongan, yaitu oksigen (O_2) dalam air (H_2O) terlepas karena bereaksi dengan timah (Pb) pada plat positif dan secara perlahan kembali menjadi oksida timah colat (PbO_2) dan asam (SO_4) yang menempel pada kedua plat-plat (positif maupun negatif) terlepas dan bergabung dengan hydrogen (H) pada air (H_2O) didalam cairan elektrolit dan kembali terbentuk menjadi asam sulfat (H_2SO_4) sebagai cairan elektrolit. Akibatnya berat jenis cairan elektrolit bertambah sekitar 1,285 (pada baterai yang terisi penuh).

Pengisian multi-stage, terdiri dari 3 tahap: *constant-current charge*, *topping charge* dan *float charge*. Selama *constant current charge*, baterai diisi sampai 70 persen dalam waktu 5 jam; sisanya 30 persen adalah pengisian pelan-pelan dalam *topping charge*. *Topping charge* butuh sekitar 5 jam yang lain dan ini sangat penting untuk menjaga baterai tetap baik. Jika pola pengisian baterai tidak lengkap sesuai dengan kedua stage diatas, maka baterai akan kehilangan kemampuan untuk menerima full charge dan kinerja baterai akan berkurang. Tahap ketiga adalah *float charge*, kompensasi self-discharge setelah baterai terisi penuh.

Baterai terdiri dari beberapa sel. Baterai 12 Volt, terdiri dari 6 sel. Batas tegangan satu sel umumnya mulai dari 2.30V sampai 2.45V. Jadi baterai 12 Volt, tegangan sebenarnya adalah antara 13.8 V - 14.7 Volt. Kondisi baterai

tergantung dari suhu. Suhu tinggi menyebabkan baterai cepat rusak. Pada charging baterai pada suhu ruangan melebihi 30 derajat celcius, tegangan yang direkomendasikan adalah 2.35V/sel. Pada saat *charging*, dan suhu ruangan tetap dibawah 30 derajat Celcius, tegangan *charger* untuk masing-masing sel disarankan 2.40 sampai 2.45Volt. Tegangan float charge yang direkomendasikan dari kebanyakan baterai lead acid adalah di antara 2.25 sampai 2.30V/sel. Kompromi yang baik adalah 2.27V. Float charge yang optimal bergeser tergantung dari suhu. Pada suhu tinggi dibutuhkan tegangan lebih kecil dan suhu lebih rendah dibutuhkan tegangan lebih tinggi. Chager dengan suhu dengan fluktuatif harus dilengkapi dengan sensor suhu untuk mengoptimalkan float charge.

2. Proses Pemakaian

Proses pemakaian yaitu proses perubahan energi kimia menjadi energi listrik. Proses pengosongan dalam sel berlangsung Jika sel dihubungkan dengan beban maka electron mengalir dari anoda melalui beban ke katoda, lalu ion-ion negatif mengalir ke anoda dan ion-ion positif mengalir menuju katoda.

Ketika baterai mengeluarkan arus, oksigen (O₂) pada plat positif terlepas karena bereaksi dengan hydrogen (H) pada cairan elektrolit yang secara perlahan-lahan keduanya bergabung dengan timah (Pb) di plat positif ataupun plat negatif sehingga menempel di plat positif dan negatif tersebut. Reaksi ini akan berlangsung secara terus-menerus hingga isi (tenaga baterai)habis atau dalam keadaan discharge. Ketika baterai dalam keadaan discharge maka hampir semua asam melekat pada plat-plat dalam sel sehingga cairan elektrolit konsentrasinya sangat rendah dan hampir hanya terdiri air (H₂O), sehingga berat jenis cairan menurun sekitar 1,1 Kg/dm³ dan ini mendekati

berat jenis air yaitu 1 Kg/dm³, sedangkan baterai yang masih berkapasitas penuh berat jenisnya sekitar 1,285 Kg/dm³. Oleh karena itu perbedaan berat jenis inilah kapasitas isi baterai bisa diketahui apakah baterai masih penuh atau sudah berkurang dengan menggunakan alat hidrometer. Selain itu ketika baterai dalam keadaan discharge maka 85% cair elektrolit adalah air (H₂O) sehingga air ini bisa membeku, dan bak baterai bisa pecah dan

plat-plat menjadi rusak.

Kapasitas baterai sebesar 100 Ampere hour, artinya arus baterai akan habis dalam satu jam, bila beban menggunakan 100 Ampere. Level discharge baterai yang direkomendasikan adalah sampai dengan tegangan 1.75 Volt per sel. Baterai akan rusak apabila tegangan per sel lebih kecil dari 1.75 Volt (atau 10.5 Volt untuk baterai 12 Volt).

Nilai charging dan discharging berpengaruh terhadap nilai kapasitas baterai. Jika baterai didischarge sangat cepat (arus discharge tinggi), maka sejumlah energi yang dapat digunakan oleh baterai menjadi berkurang, sehingga kapasitas baterai menjadi lebih rendah. Ini terjadi karena kebutuhan suatu materi/komponen untuk reaksi yang terjadi tidak mempunyai waktu yang cukup untuk bergerak ke posisi yang seharusnya. Hanya sejumlah reaktan yang diubah ke bentuk lain. Sehingga energi yang ada berkurang. Maka seharusnya arus discharge yang digunakan sekecil mungkin, sehingga energi yang digunakan kecil dan kapasitas baterai menjadi lebih tinggi.

Nilai self discharge merupakan ukuran seberapa cepat sel pada baterai akan kehilangan energi pada saat kondisi diam. Karena aksi bahan kimia yang tidak diinginkan dalam sel. Nilainya bergantung pada bahan kimia sel dan suhu. Nilai self discharge untuk baterai jenis lead acid adalah sekitar 4% hingga 6%. Nilai reaksi kimia yang tidak diinginkan yang menyebabkan arus internal bocor antara elektroda negatif dan positif sel meningkat sesuai temperatur yang pada akhirnya menyebabkan meningkatnya nilai *self discharge* baterai.

2.7.2 Hal Yang Harus Dipertimbangkan Ketika Menggunakan Baterai

1. Hindari pemakaian baterai sampai habis. Sebaiknya, paling sedikit 1,95V per sel dengan waktu pemakaian hingga 24 jam. Hal ini berarti tegangan dengan sebesar 48V, tegangan pelepasan terakhir sebesar 46,8V.
2. Baterai tidak boleh diisi dengan arus yang terlalu tinggi. Semakin tinggi arus maka semakin cepat tegangannya menurun, sehingga LVD akan dicapai lebih cepat.

2.8 Cara dan Tindakan Pemeliharaan Baterai

a. Pemeriksaan Kebersihan

Periksa apakah ruangan baterai beserta baterai dalam kondisi bersih. Jikamembersihkan 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 ditemukan 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 oksidasi. Jika tidak terlindung segera pasang isolator pada baterai dan kencangkan.

c. Periksa Suhu Baterai

- 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.

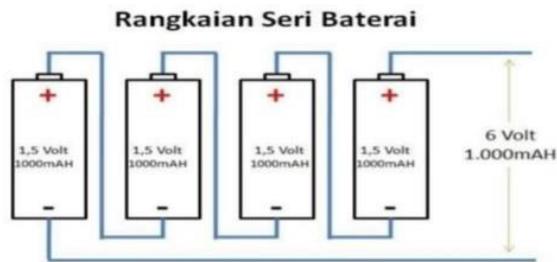
d. Pemeriksaan Fisik

Periksa apakah ada perubahan fisik baterai (gembung, retak dll). Jika terjadiperubahan fisik baterai segera hubungi dosen pembimbing atau teknisi tentang langkah apa yang harus dilakukan.

2.9 Rangkaian Pada Baterai

a. Rangkaian Seri

Rangkaian seri atau modul surya akan meningkatkan tegangan (Voltage) keluarannya sedangkan kuat arus listriknya (Ampere) akan tetap sama. Contoh rangkaian listrik seri sumber arus searah dapat dilihat pada Gambar 2.23



Gambar 2.23 Rangkaian Seri Baterai

Dari Gambar diatas, 4 buah baterai masing-masing menghasilkan *current* atau kapasitas arus listrik (Ampere) yang sama seperti arus listrik pada 1 buah baterai, namun tegangan yang dihasilkannya menjadi 4 kali lipat dari tegangan 1 buah baterai. Yang dimaksud dengan tegangan dalam elektronika adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik yang dinyatakan dalam satuan Volt.

Seperti yang digambarkan pada Gambar diatas, 4 buah baterai yang masing-masing bertegangan 1,5 Volt dan 1.000 miliampere per jam (mAh) akan menghasilkan 6 Volt tegangan tetapi kapasitas arus listriknya (*Current*) akan tetap yaitu 1.000 miliampere per jam (mAh).

Secara matematis dapat

$$\text{dituliskan: } V_{\text{tot}} = V_{\text{bat1}} + V_{\text{bat2}}$$

$$V_{\text{bat3}} + V_{\text{bat4}} + \dots + V_n \quad I_{\text{tot}} = I_{\text{bat1}} + I_{\text{bat2}} \\ + I_{\text{bat3}} + I_{\text{bat4}} + \dots + I_n$$

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 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:

$$V_{tot} = 1,5V + 1,5V + 1,5V + 1,5V$$

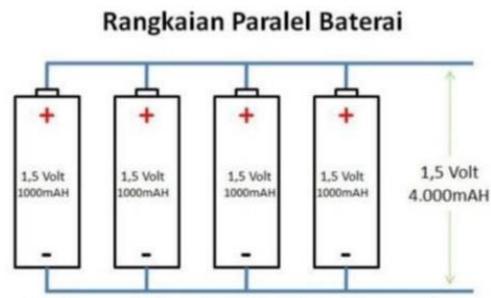
$$V_{tot} = 6V$$

Dan

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

b. Rangkaian Paralel

Rangkaian parallel baterai atau modul surya akan meningkatkan Arus Listrik(Ampere) tetapi Tegangan (Voltage) output/keluarannya akan tetap sama. Contoh rangkaian listrik pararel sumber arus searah dapat dilihat pada gambar 2.24



Gambar 2.24 Rangkaian Paralel Baterai

Dari 4 buah baterai pada gambar diatas, tegangan yang dihasilkan dari rangkaian parallel adalah sama yaitu 1,5 Volt tetapi *Current* atau kapasitas arus listrik yang dihasilkan adalah 4.000 mAh (miliampere per jam) yaitu total dari semua kapasitas arus listrik pada baterai.

Secara matematis dapat dituliskan:

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

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

Sehingga:

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

$$I_{tot} = 4.000mAh$$

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

2.10 Perhitungan Baterai

2.10.1 Perhitungan Daya Output Panel Surya

Perhitungan daya keluaran (output) rata-rata perjam pada panel surya dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.2. Namun terlebih dahulu kita harus menghitung daya keluarannya dulu dengan menggunakan persamaan 2.1.

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

Dimana :

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

$$\text{Prata-rata} = \frac{P1+P2+P3+Pn}{N} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

Daya rata-rata = Daya rata-rata (Watt)

P1 = Daya pada titik pengujian ke satu

P2 = Daya pada titik pengujian ke dua

P3 = Daya pada titik pengujian ke 3

Pn = Daya pada titik pengujian ke n

N = Jumlah P1 s/d Pn

2.10.2 Perhitungan Lama Pengisian Baterai PLTS

Lama waktu pengisian baterai PLTS dapat dirumuskan menggunakan persamaan berikut:

$$T = \left(\frac{C}{I}\right) + \Phi \left(\frac{C}{I}\right) \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

I = Arus Pengisian (A)

C= Kapasitas Baterai (Ah)

T = Waktu Pengisian (Jam)

Φ = % Defisiensi (20%)

2.10.3 Perhitungan Lama Pemakaian Baterai

Lama waktu pemakaian baterai PLTS bisa dirumuskan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Waktu pemakaian} = \frac{\text{Kapasitas Baterai}}{\text{Arus Beban}} \dots\dots\dots(2.4)$$