

## **BAB 2**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya**

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

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

##### **2.1.1 Cara Kerja PLTS**

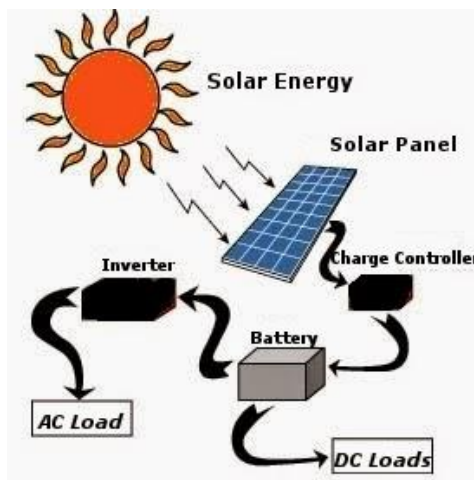
Pembangkit listrik tenaga surya konsepnya sederhana, yaitu mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Cahaya matahari merupakan salah satu bentuk energi dari sumber daya alam. Sumber daya alam matahari ini sudah banyak digunakan untuk memasok daya listrik di satelit komunikasi melalui sel surya. 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. Bandingkan

dengan sebuah generator listrik, ada bagian yang berputar dan memerlukan bahan bakar untuk dapat menghasilkan listrik. Suaranya bising, selain itu gas yang dihasilkan dapat menimbulkan efek gas rumah kaca (*green house gas*) yang pengaruhnya dapat merusak ekosistem planet bumi kita.

Sistem sel surya yang dapat digunakan di permukaan bumi terdiri dari panel sel surya, rangkaian kontroler pengisian (*charge controller*), dan aki (baterai) 12 volt yang *maintenance free*. Panel sel surya merupakan modul yang terdiri dari beberapa sel surya yang dihubungkan seri dan paralel tergantung ukuran dari kapasitas yang diperlukan. Rangkaian kontroler pengisian aki dalam sistem sel surya merupakan rangkaian elektronik yang mengatur proses pengisian akinya. Kontroler ini dapat mengatur tegangan aki dalam selang tegangan 12 volt. Bila tegangan turun sampai 10.8 volt berarti sisa tegangan pada aki 2.2 volt, maka kontroler akan mengisi aki dengan panel surya sebagai sumber dayanya. Tentu saja proses pengisian itu akan terjadi bila berlangsung pada saat ada cahaya matahari. Jika penurunan tegangan terjadi pada malam hari, maka kontroler akan memutuskan pemasokan energi listrik. Setelah proses pengisian itu berlangsung selama beberapa jam, tegangan aki itu akan naik bila tegangan aki itu mencapai 12 volt, maka kontroler akan menghentikan proses pengisian aki itu. Rangkaian kontroler pengisian aki, sebenarnya mudah untuk dirakit sendiri. Tapi, biasanya rangkaian kontroler ini sudah tersedia dipasaran. Memang harga kontroler itu cukup mahal kalau dibeli sebagai unit sendiri. Kebanyakan sistem sel surya itu hanya dijual dalam bentuk paket lengkap itu jelas lebih murah dibandingkan dengan bila merakit sendiri. Biasanya panel surya itu diletakkan dengan posisi lurus menghadap matahari. Padahal bumi itu bergerak mengelilingi matahari, agar dapat terserap secara maksimum sinar

matahari itu harus diusahakan selalu jatuh tegak lurus pada permukaan panel surya.

Bahan sel surya sendiri terdiri dari kaca pelindung dan material *adhensive* transparan yang melindungi bahan sel surya dari keadaan lingkungan kemudian material anti-refleksi untuk menyerap lebih banyak cahaya dan mengurangi jumlah cahaya yang dipantulkan, semikonduktor P-type dan N-type (terbuat dari campuran silikon) untuk menghasilkan medan listrik, saluran awal dan saluran akhir (terbuat dari logam tipis) untuk mengirim elektron ke perabot listrik. Cara kerja sel surya sendiri sebenarnya identik dengan piranti semikonduktor dioda. Ketika cahaya bersentuhan dengan sel surya dan diserap oleh bahan semi-konduktor, terjadi pelepasan elektron. Apabila elektron tersebut bisa menempuh perjalanan menuju bahan semi-konduktor pada lapisan yang berbeda, terjadi perubahan sigma gaya-gaya pada bahan. Gaya tolakan antar bahan semi-konduktor, menyebabkan aliran medan magnetik. Dan menyebabkan elektron dapat disalurkan ke saluran awal dan akhir untuk digunakan pada perabot listrik



**Gambar 2.1** Sistem Instalasi Menggunakan Solar cell

## 2.2 Daya Listrik

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

$$P = v \, dq/dt = v i \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

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

$$P = V \cdot I \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

$P$  = adalah daya (watt atau W)

$I$  = adalah arus (ampere atau A)

$V$  = adalah perbedaan potensial (volt atau V).

## 2.3 STC ( Standart Test Condition )

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

STC adalah standar industri-lebar untuk menunjukkan kinerja modul panel dan menentukan suhu sel  $25^{\circ}\text{C}$  dan radiasi  $1000\text{ W / m}^2$  dengan massa udara 1,5 (AM1.5) spektrum. Ini sesuai dengan radiasi dan spektrum insiden sinar matahari pada hari yang cerah pada permukaan yang menghadap ke matahari  $37^{\circ}$  dengan matahari pada sudut  $41,81^{\circ}$  di atas cakrawala.

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

## **2.4 Energi Surya**

Energi surya adalah energi yang didapat dengan mengubah energi panas surya (matahari) melalui peralatan tertentu menjadi sumber daya dalam bentuk lain. Energi surya menjadi salah satu sumber pembangkit daya selain air, uap, angin, biogas, batu bara, dan minyak bumi.

Teknik pemanfaatan energi surya mulai muncul pada tahun 1819, ditemukan oleh A.C. Becquerel. Dalam penggunaan kristal silikon yaitu untuk mengkonversikan radiasi matahari, namun sampai tahun 1955 metode ini belum banyak dikembangkan. Selama kurun waktu lebih dari satu abad itu, sumber energi yang banyak digunakan adalah minyak bumi dan batu bara. Upaya pengembangan kembali cara memanfaatkan energi surya baru muncul lagi pada tahun 1958. Sel silikon yang dipergunakan untuk mengubah energi surya menjadi sumber daya mulai diperhitungkan sebagai metode baru, karena dapat digunakan sebagai sumber daya bagi satelit luar angkasa.

### 2.4.1 Panel Surya

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

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

Jenis panel sel surya :

#### 1. Polycrystalline

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



***Gambar 2.2 Panel Surya Polycrystalline***

## 2. Monocrystalline

Merupakan panel surya yang paling efisien, menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Memiliki efisiensi sampai dengan 24%. Kelemahan dari panel ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari nya kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.



***Gambar 2.3 Panel surya Monocrystalline***

## 3. Panel Surya Amorf

Adalah tidak benar-benar kristal, tetapi lapisan tipis silicon diendapkan pada bahan dasar seperti logam atau gelas untuk membuat panel

surya. Amorf paduan dari silikon dan karbon (amorf silikon karbida juga dihidrogenasi,  $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{H}$ ) adalah varian yang menarik. Pengenalan atom karbon menambahkan ekstra derajat kebebasan untuk mengontrol sifat-sifat materi. Film ini juga bisadibuat transparan untuk cahaya tampak.

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



***Gambar 2.4*** Panel Surya Amorf

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



### 2.4.2 Photovoltaic

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

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

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

Foton pada cahaya yang diserap fotovoltaiik menyebabkan electron-electron tereksitasi. Hasilnya terdapat fotogenerasi dari pembawa , muatan yang berada didalam lapisan semikonduktor tipe-p dan tipe-n fotovoltaiik. Arus yang dihasilkan adalah arus direct current (DC), yang dihasilkan oleh fotovoltaiik adalah.

$$i = e \left( \exp \frac{e.v}{kT} - 1 \right) \left( \frac{n o D e t}{L_e^2} + \frac{P o D h}{L_h} \right) - e.g \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

$g$  = elektron dan hole/satuan luas

$v$  = tegangan p dan n

$k$  = konstanta Boltzmann

$T$  = temperatur fotovoltaik

$L$  = panjang difusi elektron dan lubang

$D$  = konstanta difusi elektron dan lubang

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

Tegangan yang dihasilkan oleh fotovoltaik bergantung pada medan listrik pada daerah depletion layer, medan listrik ini terjadi akibat interaksi muatan-muatan yang berada didalamnya. Sehingga definisi dari tegangan yang dihasilkannya adalah.

$$V = \left( \frac{e}{2 \Sigma_o \Sigma_r} \right) (NDdn^2 + NAdp^2) \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

$V$  = tegangan

$e$  = besar muatan

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

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

### 2.4.3 Modul Sel Surya

Modul sel surya adalah sekumpulan modul yang saling dihubungkan secara seri, paralel atau kombinasi keduanya untuk memperoleh suatu nilai tegangan, arus, dan daya tertentu.

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

$$J_s = \frac{V_{INV}}{V_{MF}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

$J_s$  = jumlah seri modul PV

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

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

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

$$V_{GPV} = J_s \cdot V_{MF} \dots\dots\dots (2.6)$$

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

$$I_p = \frac{P'_{GPV}}{V_{GV} \cdot I_{MF}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

$J_p$  = jumlah string modul PV

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

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

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

#### 2.4.4 Analisa Energi Solar

Photovoltaic pada umumnya mempunyai hambatan parasitik seri dan hambatan shunt yang berpengaruh pada penurunan efisiensi, seperti ditunjukkan pada gambar berikut (hamdani,2011).

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

$$I = I_L - I_0 \left( \exp \left( \frac{V + IR_s}{N_s n_t V_t} \right) - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}}$$

$$= I_L - I_0 \left( \exp \left( \frac{V + IR_s}{m V_t} \right) - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dengan  $I_L$  arus yang dibangkitkan cahaya (A),  $I_0$  arus jenuh balik pada sambungan diode p-n (A),  $R_s$  hambatan seri pada sel PV (ohm),  $R_{sh}$  hambatan *shunt* se PV (ohm),  $N_s$  jumlah sel yang tersusun seri,  $n_1$  aktor ideal diode, dan  $m=N_s N_1$  parameter tunggal dan  $V_t$  tegangan termal (V) yang dinyatakan sebagai berikut:

$$V_t = \frac{k T_c}{2! q} \dots \dots \dots (2.9)$$

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

### 2.4.5 Sel Surya

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

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

Pada dasarnya, Sel Surya merupakan Dioda Foto (Photodiode) yang memiliki permukaan yang sangat besar. Permukaan luas Sel Surya tersebut menjadikan perangkat Sel Surya ini lebih sensitif terhadap cahaya yang masuk dan menghasilkan Tegangan dan Arus yang lebih kuat dari Dioda Foto pada umumnya. Contohnya, sebuah Sel Surya yang terbuat dari bahan semikonduktor silikon mampu menghasilkan tegangan setinggi 0,5V dan Arus setinggi 0,1A saat terkena (*expose*) cahaya matahari. Saat ini, telah banyak yang mengaplikasikan perangkat Sel Surya ini ke berbagai macam penggunaan. Mulai dari sumber listrik untuk Kalkulator, Mainan, pengisi

baterai hingga ke pembangkit listrik dan bahkan sebagai sumber listrik untuk menggerakkan satelit yang mengorbit bumi kita.

#### **2.4.6 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.

### 2.4.7 Perkembangan Sel Surya

Pengembangan sel surya semakin banyak menggunakan bahan semikonduktor yang bervariasi dan silikon yang secara individu (*chip*) banyak digunakan, diantanya :

1. *Mono-crystalline* (Si), dibuat dari silikon kristal tunggal yang didapat dari peleburan silikon dalam bentukan bujur. Sekarang *Mono-crystalline* dapat dibuat setebal 200 mikron, dengan nilai efisiensi sekitar 24%.
2. *Polycrystalline/Multi-crystalline* (Si), dibuat dari peleburan silikon dalam tungku keramik, kemudian pendinginan perlahan untuk mendapatkan bahan campuran silikon yang akan timbul diatas lapisan silikon. Sel ini kurang efektif dibandingkan dengan sel *monocystalline* (efektivitas 18%) tetapi biaya lebih murah.
3. *Gallium Arsenide* (GaAs), Gallium Arsenide pada unsur periodic III-V menghasilkan energi listrik sebesar 25%. Banyak digunakan pada aplikasi pemakaian sel surya.

### 2.5 Charge Controller

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

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

Beberapa fungsi detail dari solar charge controller adalah sebagai berikut:

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

Untuk membeli solar charge controller yang harus diperhatikan adalah:

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

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



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

Charge Controller bahkan ada yang mempunyai lebih dari 1 sumber daya, yaitu bukan hanya berasal dari matahari, tapi juga bisa berasal dari tenaga angin ataupun mikro hidro. Di pasaran sudah banyak ditemui charge controller 'tandem' yaitu mempunyai 2 input yang berasal dari matahari dan angin. Untuk ini energi yang dihasilkan menjadi berlipat ganda karena angin bisa bertiup kapan saja, sehingga keterbatasan waktu yang tidak bisa disuplai energi matahari secara full, dapat disupport oleh tenaga angin. Bila kecepatan rata-rata angin terpenuhi maka daya listrik per bulannya bisa jauh lebih besar dari energi matahari.

### 2.5.1 Cara Kerja Charge Controller

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

1. *Charging mode* : Mengisi bareai (kapan baterai diisi, menjadi pengisian kalau baterai penuh), dalam charging mode, umumnya baterai diisi dengan metode three stage charging:
  - a) *Fase bulk* : baterai akan *di-charge* sesuai dengan tengan setup (*bulk* - antara 14.4 - 14.6 Volt) dan arus diambil secara maksimum

dari panel surya. Pada saat baterai sudah pada tegangan setup (*bulk*) dimulailah *fase absorption*.

- b) *Fase absorption* : pada fase ini, tegangan baterai akan dijaga sesuai dengan tegangan bulk, sampai solar charge controller timer (umumnya satu jam) tercapai, arus yang dialirkan menurun sampai tercapai kapasitas dari baterai.
  - c) *Fase float* : baterai akan dijaga pada tegangan float setting (umumnya 13.4 – 13.7 Volt). Beban yang terhubung ke baterai dapat menggunakan arus maksimum dari panel surya pada stage ini.
2. *Operation mode* : Penggunaan baterai ke beban (pelayanan baterai ke beban diputuskan kalau baterai sudah mulai kosong “kosong”). Pada metode ini, baterai akan melayani beban. Apabila ada *over-discharge* ataupun *over-load*, maka baterai akan dilepaskan dari beban.

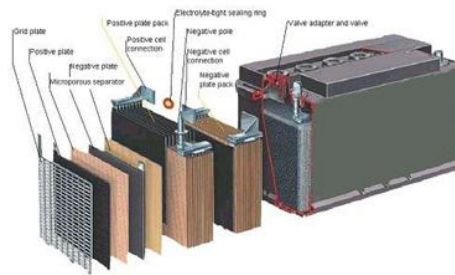
Kedua komponen hal ini berguna untuk mencegah kerusakan dari sebuah baterai.

## 2.6 Baterai

Baterai merupakan sebuah peralatan yang dapat mengubah energi. Baterai listrik adalah alat yang terdiri dari 2 atau lebih sel elektrokimia yang mengubah energi kimia yang tersimpan menjadi energi listrik. Tiap sel memiliki kutub positif (katoda) dan kutub negatif (anoda). Kutub yang bertanda positif menandakan bahwa memiliki energi potensial yang lebih tinggi daripada kutub bertanda negatif. Kutub bertanda negatif adalah sumber elektron yang ketika disambungkan dengan rangkaian eksternal akan mengalir dan memberikan energi ke peralatan eksternal. Ketika baterai dihubungkan dengan rangkaian eksternal, elektrolit dapat berpindah sebagai

ion didalamnya, sehingga terjadi reaksi kimia pada kedua kutubnya. Perpindahan ion dalam baterai akan mengalirkan arus listrik keluar dari baterai sehingga menghasilkan kerja. Meski sebutan baterai secara teknis adalah alat dengan beberapa sel, sel tunggal juga umumnya disebut baterai.

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



**Gambar 2.5** Baterai untuk Sel Surya

### 2.6.1 State of Charge

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

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

### 2.6.2 Karakteristik Baterai Valve Regulated Lead Acid (VRLA)

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

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

Lama pengisian arus :

$$T a = \frac{Ah}{A} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

$T_a$  = Lamanya pengisian arus (jam)

Ah = Besarnya kapasitas baterai (ampere hours)

A = Besarnya arus pengisian ke baterai (ampere)

Lamanya pengisian daya :

$$T_d = \frac{\text{Daya Ah}}{\text{Daya A}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

$T_d$  = Lamanya pengisian daya (jam)

Daya Ah = Besar daya Ah x tegangan baterai (Watt hours)

Daya A = Besar daya A x besar tegangan baterai (Watt)

## 2.7 Inverter

Inverter adalah sebuah alat yang mengubah listrik DC (*Direct Current*) dari baterai atau panel sel surya menjadi AC (*Alternating Current*). Penggunaan inverter dari dalam Pembangkit Tenaga Listrik (PLTS) adalah untuk perangkat yang menggunakan AC (*Alternating Current*), misalnya untuk penerangan peralatan elektronik seperti komputer, peralatan komunikasi, TV, dll. Inverter dapat digunakan dirumah dan semua tempat yang memerlukan energi (listrik) cadangan untuk mengganti listrik PLN.

Inverter digunakan ketika peralatan Anda memerlukan daya AC. Inverter memotong dan membalikkan arus DC untuk membangkitkan gelombang segi empat yang nantinya disaring menjadi gelombang sinus yang disesuaikan dan menghapus harmonik yang tidak diinginkan. Sangat sedikit inverter yang menyediakan gelombang sinus yang murni sebagai output. Kebanyakan model yang tersedia dipasar menciptakan apa yang diketahui

sebagai “gelombang sinus yang termodifikasi”, karena output tegangan mereka bukanlah sinusoid yang murni. Ketika kita memikirkan efisiensi, gelombang sinus yang termodifikasi berkinerja lebih baik dari pada inverter sinusoidal yang murni.



**Gambar 2.6** Inverter

Ketahui bahwa tidak semua peralatan akan menerima gelombang sinus yang termodifikasi sebagai tegangan output. Secara umum, beberapa printer laser tidak akan bekerja dengan gelombang sinus inverter yang termodifikasi. Mesin akan tetap berfungsi, tetapi mereka mungkin memakan lebih banyak daya dari pada jika mereka diberi input dengan gelombang sinus murni. Selain ini, power supply DC cenderung semakin memanas, dan pengeras audio dapat mengeluarkan bunyi berdengung.

### **2.7.1 Jenis Inverter**

Berikut merupakan jenis-jenis Inverter yaitu:

1. Inverter *True-sinewave* (gelombang arus murni), menghasilkan gelombang listik yang sama dengan listrik PLN bahkan lebih baik dalam segi kestabilan dibanding daya yang dihasilkan PLN.

Gelombang daya listrik bila dilihat melalui *oskiloskop* menampakkan gelombang sinus yang sempurna. *True sine wave* inverter diperlukan terutama untuk beban-beban yang masih menggunakan motor agar bekerja lebih mudah, lancar dan tidak cepat panas. Oleh karena itu dari sisi harga maka *True sine wave inverter* yang paling mahal diantara inverter jenis lainnya karena inverter jenis ini yang paling mendekati bentuk gelombang asli dari jaringan listrik PLN.

2. Inverter *Modified-sinewave* (gelombang sinus modifikasi), merupakan kombinasi antara *square wave* dan *sine wave*. Menghasilkan daya listrik yang cukup memadai untuk sebagian peralatan elektronik tetapi memiliki kelemahan karena kekuatan daya listrik yang dihasilkan tidak sama persis dengan daya listrik dari PLN. Bentuk gelombang yang muncul berbentuk kotak yang kaku. Perangkat yang menggunakan kumparan masih bisa beroperasi dengan *modified sine wave inverter*, hanya saja kurang maksimal. Jenis inveter ini lebih murah dibandingkan inverter *True-sinewave* dan paling umum dipasarkan karena murah diproduksi sedangkan pada *square wave* inverter beban-beban listrik yang menggunakan kumparan/motor tidak bekerja sama sekali.
3. *Grid Tie Inverter* yang merupakan special inverter yang biasanya digunakan dalam sistem energi listrik terbarukan, yang mengubah arus listrik DC menjadi AC yang kemudian diumpankan ke jaringan listrik yang sudah ada. *Grid Tie Inverter* juga dikenal sebagai *synchronous inverter* dan perangkat ini tidak dapat berdiri sendiri, apalagi bila jaringan tenaga listrik tidak tersedia.

Dibandingkan dengan jenis lain, *inverter true-sinewave* lebih banyak digunakan karena memiliki beberapa kelebihan antara lain:

- a. *True-sinewave* memiliki keluaran gelombang dengan distorsi harmonik yang rendah, daya listrik hampir tanpa gangguan serta kestabilan yang lebih baik.
- b. Beban induktif berjalan lebih cepat, tidak bising dan tidak cepat panas (beban induktif yaitu beban daya ketika perangkat elektronik pertama kali dihidupkan).
- c. Mengurangi gangguan pada speaker seperti suara distorsi, kebisingan pada kipas angin, mencegah kedip (*flicker*) pada monitor, lampu neon, TV dan mencegah kerusakan pada piranti seperti hardware komputer (*harddisk, motherboard, processor*), dll, disebabkan oleh tidak stabilnya tegangan listrik.

### 2.7.2 Parameter Inverter

Ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan inverter.

1. Kapasitas beban dalam Watt, usahakan memiliki inverter yang beban kerjanya mendekati dengan beban yang hendak kita gunakan agar efisiensi kerjanya maksimal.
2. Input DC 12 Volt atau 24 Volt.
3. Sinwave ataupun square wave output AC.
4. Keandalan saat adanya sertakan. Inverter mempunyai dua penilaian daya: satu untuk daya yang terus-menerus, dan yang lebih tinggi untuk daya tertinggi. Mereka dapat menyediakan daya tertinggi untuk waktu yang sangat singkat, seperti ketika menghidupkan mesin.



Inverter juga sebaiknya dapat secara aman menginterupsi dirinya sendiri (dengan sakelar pemutus (*circuit breaker*) atau sekering) seandainya terjadi terjadi arus sirkuit pendek, atau jika daya yang diminta terlalu tinggi.

5. Efisiensi konversi. Inverter paling efisiensi ketika memberikan 50% sampai 90% dari rating daya terus-menerus mereka. Anda sebaiknya memilih inverter yang hampir sesuai dengan syarat beban Anda. Pabrik biasanya menyediakan kinerja inverter di 70% dari daya nominalnya.
6. Pengisian daya baterai. Banyak inverter juga memasukkan fungsi terbaik: kemungkinan mengisi daya baterai dari sebuah sumber arus AC (jaringan listrik, genset dll). Inverter tipe ini dikenal sebagai charger/inverter.
7. *Automatic fail-over*. Beberapa inverter dapat berpindah secara otomatis di antara sumber daya yang berbeda (jaringan listrik PLN, pembangkit daya listrik, surya) tergantung pada apa yang terjadi.

Ketika menggunakan peralatan telekomunikasi, sebaiknya hindari pengguna konverter DC/AC dan memberi daya kepada mereka secara langsung dari sebuah sumber DC. Kebanyakan peralatan komunikasi dapat menerima tingkatan input tegangan yang cukup besar.

## **2.8 Beban**

Beban merupakan suatu peralatan yang mengkonsumsi daya yang dihasilkan oleh sumber daya. Beban ini misalnya seperti lampu, kipas, alat elektronik dll. Pada keseluruhan sistem, total daya adalah jumlah semua daya aktif dan reaktif yang dipakai oleh peralatan yang menggunakan energi listrik.

Jadi dalam penggunaan rumah tangga, total beban listrik adalah total semua daya yang dikonsumsi oleh peralatan listrik tersebut yang aktif, karena dalam kondisi mati peralatan tentu tersebut tidak menggunakan daya listrik.