



---

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Solar Cell ( Sel Surya )

Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi energi listrik. Panel surya sering disebut sel photoVoltaic yang dapat diartikan sebagai “cahaya-listrik”. Sel surya atau sel PhotoVoltaic (PV) bergantung pada efek photoVoltaic untuk menyerap energi matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan.

Sel surya perlu dilindungi dari kelembaban dan kerusakan mekanis karena hal ini dapat merusak efisiensi panel surya secara signifikan, dan menurunkan masa pakai dari yang diharapkan. Panel surya merupakan pembangkit listrik yang mampu mengkonversi penyinaran matahari yang diubah menjadi arus listrik. Energi matahari sesungguhnya merupakan sumber energi yang menjanjikan mengingat sifatnya continue serta jumlahnya yang besar dan melimpah ketersediannya.



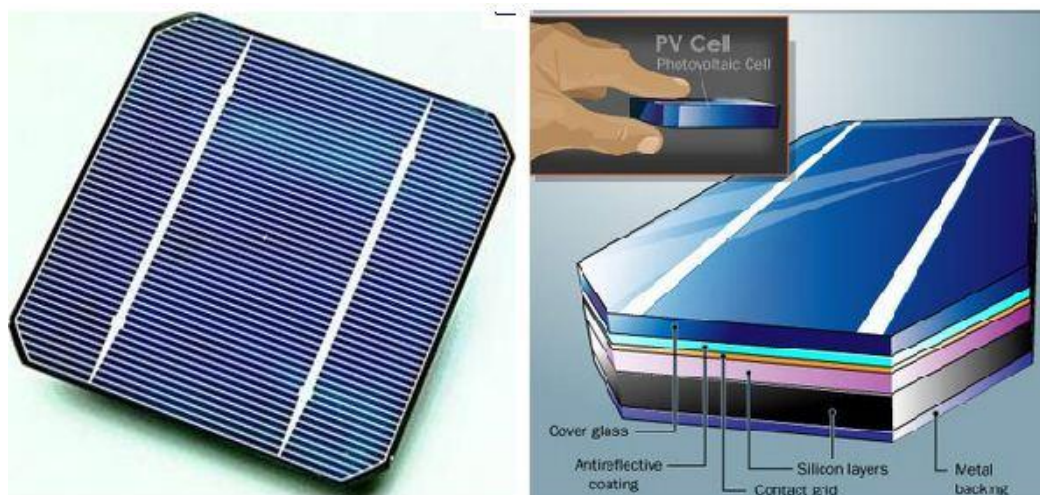
**Gambar 2. 1 Solar Cell**

Matahari merupakan sumber energi yang diharapkan dapat mengatasi atau memecahkan permasalahan kebutuhan energi masa depan setelah berbagai sumber energi konvensional berkurang jumlahnya serta tidak ramah terhadap lingkungan.



### 2.1.1 Struktur Solar Sell

Sesuai dengan perkembangan sains dan teknologi, jenis-jenis teknologi sel surya pun berkembang dengan berbagai inovasi. Ada yang disebut sel surya generasi satu, dua, tiga dan empat, dengan struktur atau bagian-bagian penyusun sel yang berbeda pula (Jenis-jenis teknologi surya akan dibahas di tulisan “Sel Surya : Jenis-jenis teknologi”). Dalam tulisan ini akan dibahas struktur dan cara kerja dari sel surya yang umum berada dipasaran saat ini yaitu sel surya berbasis material silikon yang juga secara umum mencakup struktur dan cara kerja sel surya generasi pertama (sel surya silikon) dan kedua (thin film/lapisan tipis).



**Gambar 2.2 Struktur dari sel surya**

Gambar diatas menunjukkan ilustrasi sel surya dan juga bagian-bagiannya. Secara umum terdiri dari :

#### 1. Substrat/Metal backing

Substrat adalah material yang menopang seluruh komponen sel surya. Material substrat juga harus mempunyai konduktifitas listrik yang baik karena juga berfungsi sebagai kontak terminal positif sel surya, sehingga umumnya digunakan material metal atau logam seperti aluminium atau molybdenum.



## 2. Material semikonduktor

Material semikonduktor merupakan bagian inti dari sel surya yang biasanya mempunyai tebal sampai beberapa ratus mikrometer untuk sel surya generasi pertama (silikon), dan 1-3 mikrometer untuk sel surya lapisan tipis. Material semikonduktor inilah yang berfungsi menyerap cahaya dari sinar matahari. Untuk kasus gambar diatas, semikonduktor yang digunakan adalah material silikon, yang umum diaplikasikan di industri elektronik. Sedangkan untuk sel surya lapisan tipis, material semikonduktor yang umum digunakan dan telah masuk pasaran yaitu contohnya material  $\text{Cu(In,Ga)(S,Se)}_2$  (CIGS), CdTe (kadmium telluride), dan amorphous silikon, disamping material-material semikonduktor potensial lain yang dalam sedang dalam penelitian intensif seperti  $\text{Cu}_2\text{ZnSn(S,Se)}_4$  (CZTS) dan  $\text{Cu}_2\text{O}$  (copper oxide). Bagian semikonduktor tersebut terdiri dari junction atau gabungan dari dua material semikonduktor yaitu semikonduktor tipe-p (material-material yang disebutkan diatas) dan tipe-n (silikon tipe-n, CdS, dll) yang membentuk p-n junction. P-n junction ini menjadi kunci dari prinsip kerja sel surya. Pengertian semikonduktor tipe-p, tipe-n, dan juga prinsip p-n junction dan sel surya akan dibahas dibagian “cara kerja sel surya”.

## 3. Kontak metal / contact grid

Selain substrat sebagai kontak positif, diatas sebagian material semikonduktor biasanya dilapiskan material metal atau material konduktif transparan sebagai kontak negatif.



#### 4. Lapisan antireflektif

Refleksi cahaya harus diminimalisir agar mengoptimalkan cahaya yang terserap oleh semikonduktor. Oleh karena itu biasanya sel surya dilapisi oleh lapisan anti-refleksi. Material anti-refleksi ini adalah lapisan tipis material dengan besar indeks refraktif optik antara semikonduktor dan udara yang menyebabkan cahaya dibelokkan ke arah semikonduktor sehingga meminimumkan cahaya yang dipantulkan kembali.

#### 5. Enkapsulasi / cover glass

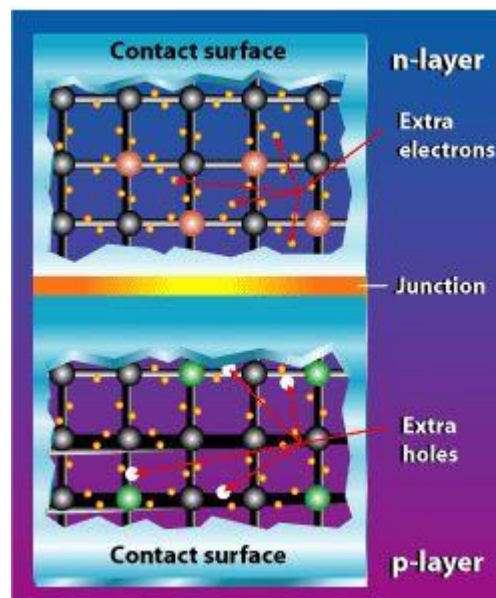
Bagian ini berfungsi sebagai enkapsulasi untuk melindungi modul surya dari hujan atau kotoran.



### 2.1.2 Prinsip Kerja Solar Sell

Sel surya konvensional bekerja menggunakan prinsip p-n junction, yaitu junction antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang dimana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktortipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan hole (muatan positif) dalam struktur atomnya.

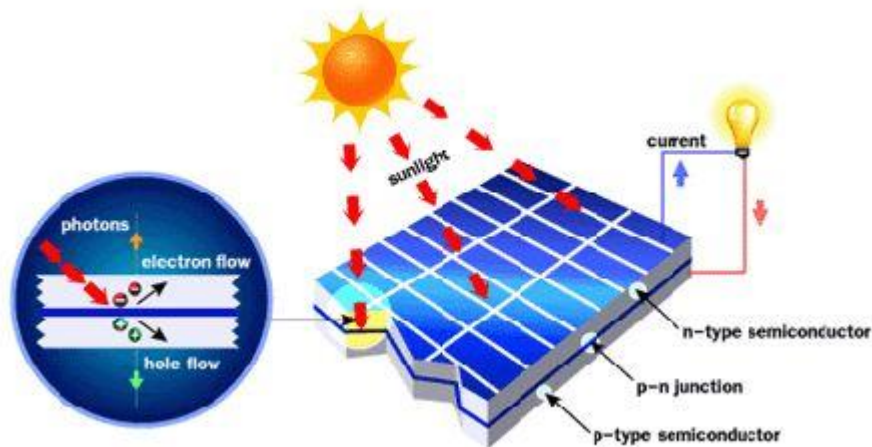
Kondisi kelebihan elektron dan hole tersebut bisa terjadi dengan mendoping material dengan atom dopant. Sebagai contoh untuk mendapatkan material silikon tipe-p, silikon didoping oleh atom boron, sedangkan untuk mendapatkan material silikon tipe-n, silikon didoping oleh atom fosfor. Ilustrasi dibawah menggambarkan junction semikonduktor tipe-p dan tipe-n.



Gambar 2.3 Junction antara semikonduktor tipe-p ( kelebihan hole ) dan tipe-n ( kelebihan elektron )



Peran dari p-n junction ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron (dan hole) bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-n, dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p. Akibat dari aliran elektron dan hole ini maka terbentuk medan listrik yang mana ketika cahaya matahari mengenai susunan p-n junction ini maka akan mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik, dan sebaliknya hole bergerak menuju kontak positif menunggu elektron datang, seperti diilustrasikan pada gambar dibawah.



**Gambar 2.4 Ilustrasi cara kerja sel surya dengan prinsip p-n junction**

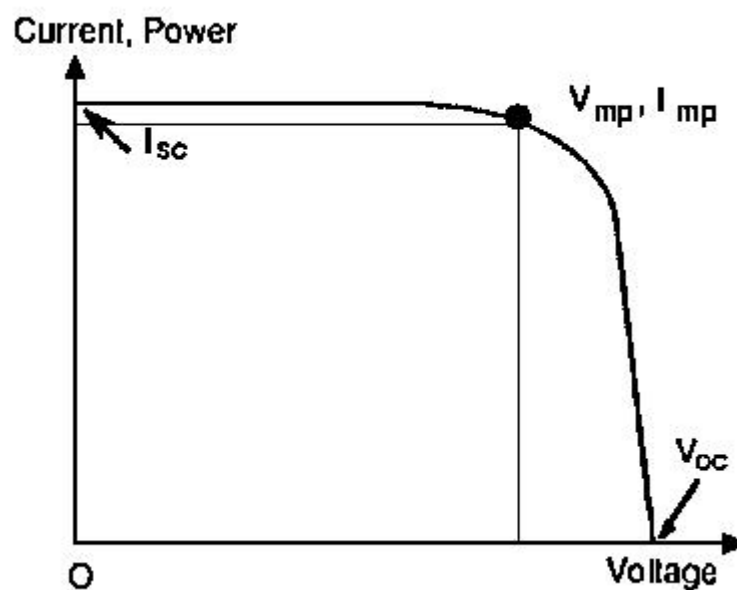


### 2.1.3 Performansi Solar Sell Panel

Total pengeluaran listrik ( wattage ) dari solar sell panel adalah sebanding dengan voltage atau tegangan operasi dikalikan dengan arus operasi saat ini. Solar sell panel dapat menghasilkan arus dari voltage yang berbeda beda. Hal ini berbeda dengan baterai, yang menghasilkan arus dari voltage yang relative konstan.

Karakteristik dari solar sell panel dapat dilihat dari kurva formasi, disebut I-V Curve. I-V curve menunjukkan hubungan antara arus dan voltage. Seperti yang dijelaskan digambar 2.4. Gambar dibawah menunjukkan tipikal kurva I-V.

Voltage (  $V$  ) adalah sumbu horizontal. Arus (  $I$  ) adalah sumbu vertical. Kebanyakan kurba I-V diberikan dalam standard test conditions ( STC ) 1000 watt per metter persegi radiasi ( atau disebut satu matahari puncak ) dan 25 derajat celcius atau 77 derajat Fahrenheit suhu solar sell panel.



**Gambar 2.5 I-V Curve**

Curva I-V terdiri dari tiga hal yang penting :

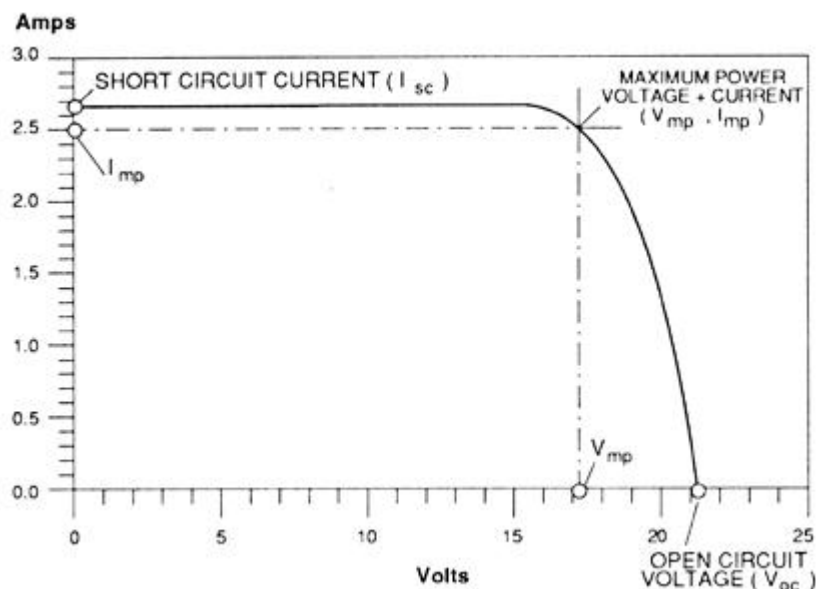
1. Maximum powerpoint (  $V_{mp}$  dan  $I_{mp}$  )
2. Open circuit voltage (  $V_{oc}$  )
3. Short circuit current (  $I_{sc}$  )



### 2.1.4 Maximum Power Point ( $V_{mp}$ dan $I_{mp}$ )

Pada kurva I-V maximum power point  $V_p$  dan  $I_{mp}$  adalah titik operasi, dimana maximum pengeluaran atau output yang diberikan oleh solar sell panel saat kondisi operasional. Dengan kata lain,  $V_{mp}$  dan  $I_{mp}$  dapat diukur pada saat solar sell panel diberi beban 25 derajat celcius dan radiasi 1000 watt per metter persegi.

Output berkurang sebagaimana voltage menurun. Arus dan daya output dari kebanyakan modul solar sell panel menurun sebagaimana tegangan atau voltage meningkat melebihi maximum power point .



Gambar 2.6 Module I-V Curve

### 2.1.5 Gambar Circuit Voltage ( $V_{oc}$ )

Open Circuit Voltage (  $V_{oc}$  ) adalah kapasitas tegangan maximum yang dapat dicapai pada saat tidak adanya arus. Pada kurva I-V,  $V_{oc}$  adalah 21 Volt. Daya pada saat  $V_{oc}$  adalah 0 watt.  $V_{oc}$  solar sell dapat diukur dilapangan dalam berbagai macam keadaan saat membeli modul/  $V_{oc}$  dapat diukur pada pagi hari dan sore hari





### **2.1.6 Short Circuit Current ( $I_{sc}$ )**

Short Circuit Current (  $I_{sc}$  ) adalah maximum output arus dari solar sell panel yang dapat dikeluarkan ( output ) dibawah kondisi yang tidak ada resistansi atau short circuit. Pada kurva I-V diatas menunjukkan perkiraan arus 2,65 amper daya pada  $I_{sc}$  adalah 0 watt

Short circuit current dapat diukur hanya pada saat membuat koneksi langsung terminal positif dan negatif dari modul solar sell panel .

### **2.1.7 Label Spesifikasi Solar Sell Panel**

Semua nilai pada kurva I-V digunakan untuk menciptakan label yang spesifikasi untuk setiap modul solar sell panel. Semua ditera dibawah standard kondisi tes. Label spesifikasi dapat ditemukan dibagian belakang dari solar sell panel .

### **2.1.8 Faktor faktor yang memengaruhi solar sell panel**

Lima hal yang memengaruhi kerja atau performansi dari modul solar sell panel adalah :

1. Bahan pembuatan solar sell panel
2. Resistansi beban
3. Intensitas cahaya matahari
4. Suhu/temperature solar sell panel
5. Bayangan atau shading

### **2.1.9 Resistansi Beban**

Tegangan baterai adalah tegangan operasi dari solar sell panel. Apabila baterai dihubungkan langsung dengan solar sell panel. Sebagai contoh, umumnya baterai 12 volt, voltase tegangan baterai biasanya antara 11,5 volt sampai 15 volt untuk dapat mengisi baterai, solar sell harus beroperasi pada voltase yang lebih tinggi daripada voltase baterai. Efisiensi paling tinggi adalah solar sell panel beroperasi dekat pada maximum power point.

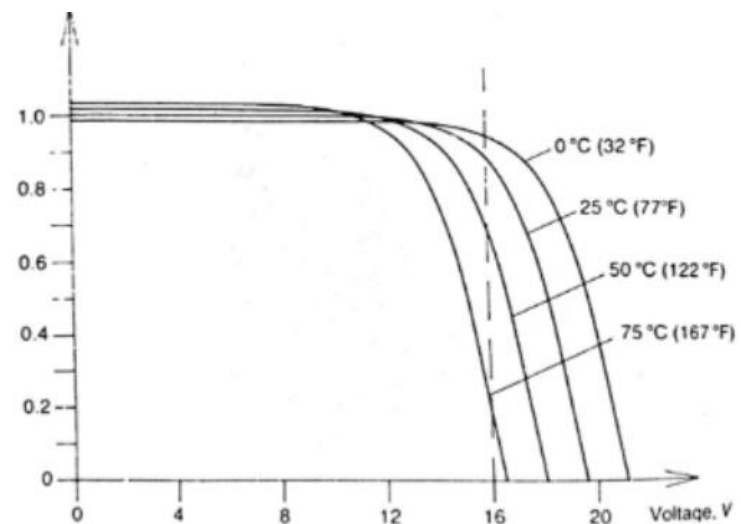


### 2.1.10 Intensitas Cahaya Matahari

Semakin besar intensitas cahaya matahari secara proporsional akan menghasilkan arus yang besar seperti gambar 2.8, tingkatan cahaya matahari menurun, bentuk dari kurva I-V menunjukkan hal yang sama, tetapi bergeser kebawah yang mengindikasikan menurunnya arus dan daya. Voltase tidak berubah oleh bermacam macam intensitas cahaya matahari.

### 2.1.11 Suhu Solar Cell Panel

Sebagaimana suhu solar cell panel meningkat diatas standar suhu normal 25 derajat celcius, efisiensi solar cell panel dan tegangan akan berkurang. Gambar 2.8 mengilustrasikan bahwa, sebagaimana suhu sel meningkat diatas 25 derajat celcius (suhu solar cell panel, bukan suhu udara) bentuk kurva I-V tetap sama, tetapi bergeser kekiri sesuai dengan kenaikan suhu solar cell panel, suhu solar cell panel akan menghasilkan tegangan dan daya yang lebih kecil. Pada dalam kasus ini adalah hambatan listrik untuk aliran electron. Untuk itu aliran udara disekeliling solar cell panel sangat penting untuk menghilangkan panas yang menyebabkan suhu solar cell yang tinggi.



**Gambar 2.7 I-V terhadap suhu**



### 2.1.12 Shading/Teduh/Bayangan

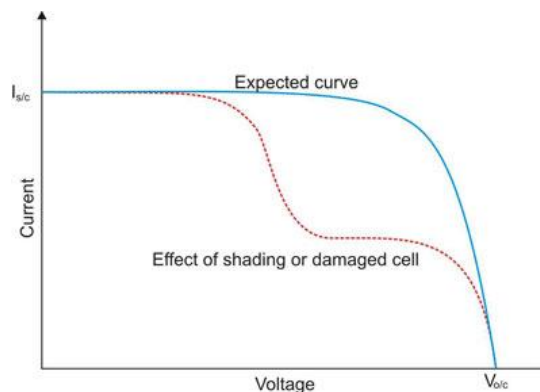
Solar cell panel terdiri dari beberapa silicon yang diserikan untuk menghasilkan daya yang diinginkan. Satu silicon menghasilkan 0,46 volt untuk membentuk solar cell panel 12 volt, dibutuhkan 32 silikon diserikan, hasilnya adalah  $14,72 - 0,46 \times 32$ .

Shading adalah dimana salah satu atau lebih sel silicon dari solar cell panel tertutup dari sinar matahari. Shading akan mengurangi pengeluaran daya dari solar cell panel. Beberapa jenis solar cell panel sangat terpengaruh oleh shading dibandingkan yang lain. Tabel 2.1 menunjukkan efek yang sangat ekstrim pengaruh shading pada satu sel dari modul panel surya single crystalline yang tidak memiliki internal bypass diodes. Untuk mengatasi hal tersebut solar cell panel dipasang bypass diode. Bypass diode harus mengalir ke satu arah, mencegah arus ke silicon yang kena bayangan.

**Table 2.1 efek shading pada satu sel panel surya**

Presentase dari bayangan pada satu sel	Presentase dari loss solar panel modul
0%	0%
25%	55%
50%	50%
75%	66%
100%	75%
3 sel terkena bayangan	93%

\*data diambil dari buku *photovoltaic design and installation manual*.



**Gambar 2.8 I-V Curve terhadap shading**



## 2.2 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.



**Gambar 2.9 Charge Controller**

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 overcharging 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 temperature 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 Amphere, 10 Amphere, 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 batere. 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 (2 terminal ) yang terhubung dengan output panel surya / solar cell, 1 output (2 terminal ) yang terhubung dengan baterai /aki dan 1 output (2 terminal ) 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 / solar cell ke baterai, bukan sebaliknya.

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



### **2.2.1 Cara Kerja Charge Controller**

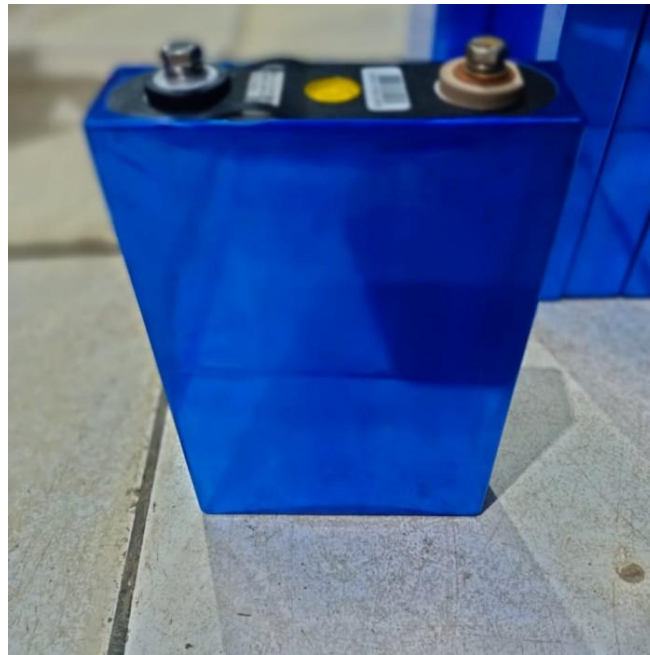
Solar charge controller, adalah komponen penting dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Solar charge controller berfungsi untuk:

- Charging mode fungsinya mengisi baterai ( Kapan baterai diisi, menjaga pengisian kalau baterai ke beban diputus kalau baterai sudah mulai kosong )
- Operation mode fungsinya penggunaan baterai ke beban ( Pelayanan baterai ke beban diputus kalau baterai sudah mulai kosong ).



### **2.3 Baterai / Aki**

Baterai adalah alat penyimpan tenaga listrik arus searah (DC). Ada beberapa jenis baterai / aki di pasaran yaitu jenis aki basah/ konvensional, hybrid dan MF ( Maintenance Free ). Aki basah/konvensional berarti masih menggunakan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) dalam bentuk cair. Sedangkan aki MF sering disebut juga aki kering karena asam sulfatnya sudah dalam bentuk gel/selai. Dalam hal mempertimbangkan posisi peletakkannya maka aki kering tidak mempunyai kendala, lain halnya dengan aki basah.



**Gambar 2.10 Baterai lifepo**



## 2.4 Inverter

Power inverter atau biasanya disebut dengan inverter adalah suatu rangkaian atau perangkat elektronika yang dapat mengubah arus listrik searah (DC) ke arus listrik bolak-balik (AC) pada tegangan dan frekuensi yang dibutuhkan sesuai dengan perancangan rangkaiannya. Sumber-sumber arus listrik searah (DC) yang merupakan input dari power inverter tersebut dapat berupa baterai, aki maupun sel surya (solar cell). Inverter ini akan sangat bermanfaat apabila digunakan di daerah-daerah yang memiliki keterbatasan pasokan arus listrik AC. Karena dengan adanya power inverter, kita dapat menggunakan aki ataupun sel surya untuk menggerakkan peralatan-peralatan rumah tangga seperti televisi, kipas angin, computer atau bahkan kulkas dan mesin cuci yang pada umumnya memerlukan sumber listrik AC yang bertegangan 220V ataupun 110V.



**Gambar 2.11 Inverter**

Bentuk-bentuk gelombang yang dapat dihasilkan oleh power inverter diantaranya adalah gelombang persegi (square wave), gelombang sinus (sine wave), gelombang sinus yang dimodifikasi (modified sine wave) dan gelombang modulasi pulsa lebar (pulse width modulated wave) tergantung pada desain rangkaian inverter yang bersangkutan, namun pada saat ini, bentuk-bentuk

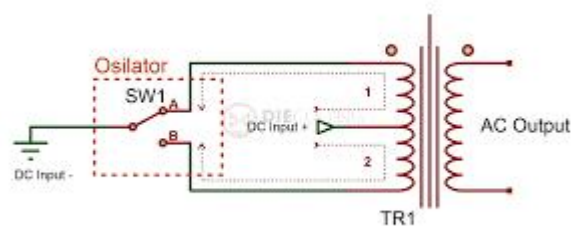




gelombang yang paling banyak digunakan adalah bentuk gelombang sinus, dan gelombang sinus yang dimodifikasi. Sedangkan frekuensi arus listrik yang dihasilkan pada umumnya adalah sekitar 50Hz atau 60Hz dengan tegangan output sekita 120V atau 240V. output daya listrik yang paling umum ditemui untuk produk-produk consumer adalah sekita 150 watt hingga 300 watt.

### 2.4.1 Prinsip Kerja Inverter

Sederhananya, suatu power inverter yang dapat mengubah arus listrik DC ke arus listrik AC ini hanya terdiri dari rangkaian osilator, rangkaian saklar (switch) dan sebuah transformator (trafo) CT seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



**Gambar 2.12 Prinsip kerja inverter**

Sumber daya yang berupa arus listrik DC dengan tegangan rendah (contoh 12 V ) diberikan ke center tap (CT) sekunder transformator sedangkan dua ujung transformator lainnya ( titik A dan titik B ) dihubungkan melalui saklar dua arah ke ground rangkaian. Jika saklar terhubung pada titik A akan menyebabkan arus listrik jalur 1 mengalir dari terminal positif baterai ke Center Tap Primer Transformaator yang kemudian mengalir ke titik A transformator hingga ke ground melalui saklar. Pada saat saklar dipindahkan dari titik A ke titik B, arus listrik yang mengalir pada jalur 1 akan berhenti dan arus listrik jalur 2 akan mulai mengalir dari terminal positif baterai ke center tap primer



transformator hingga ke ground melalui saklar titik B. titik A, B dan jalur 1, 2 dapat dilihat pada gambar di atas.

Peralihan ON dan OFF atau A dan B pada saklar ini dikendalikan oleh sebuah rangkaian osilator yang berfungsi sebagai pembangkit frekuensi 50Hz yaitu mengalihkan arus listrik dari titik A ke titik B dan titik B ke titik A dengan kecepatan 50 kali per detik. Dengan demikian, arus listrik DC yang mengalir di jalur 1 dan jalur 2 juga bergantian sebanyak 50 kali perdetik juga sehingga ekuivalen dengan arus listrik AC yang berfrekuensi 50Hz. Sedangkan komponen utama yang digunakan sebagai switch di rangkaian switch inverter tersebut pada umumnya adalah MOSFET ataupun transistor.

Sekunder transformator akan menghasilkan output yang berupa tegangan yang lebih tinggi (contohnya 120V atau 240V) tergantung pada jumlah lilitan pada kumparan sekunder transformator atau rasio lilitan antara primer dan skunder transformator yang digunakan pada inverter tersebut.