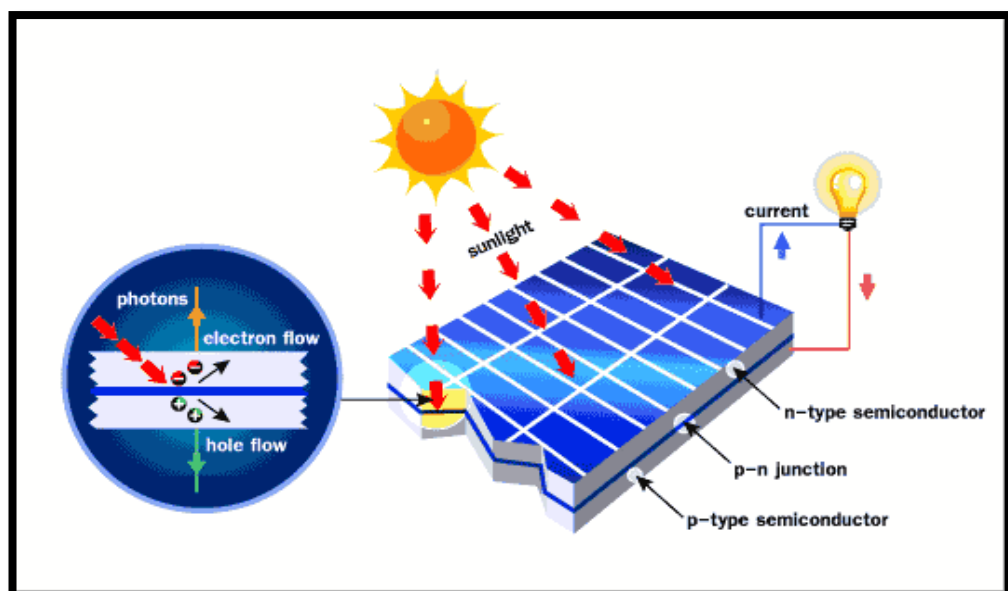


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Solar Cell*

Solar Cell atau panel surya adalah suatu komponen pembangkit listrik yang mampu mengkonversi sinar matahari menjadi arus listrik atas dasar efek *fotovoltaik*. Untuk mendapatkan tenaga listrik yang dibutuhkan serangkaian sel surya yang tergabung dalam bentuk panel sel surya (*photovoltaic module*). Dari sinar matahari menjadi dalam sebuah unit yang disebut modul, dalam sebuah modul surya terdiri dari banyak sel surya yang bisa disusun secara seri maupun paralel. Sedangkan yang dimaksud dengan surya adalah sebuah elemen semikonduktor yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik, hal ini dikarenakan sudah berkurangnya atau menipisnya cadangan energi fosil dan isu global warming. Skema solar cell dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Skema *solar cell*.

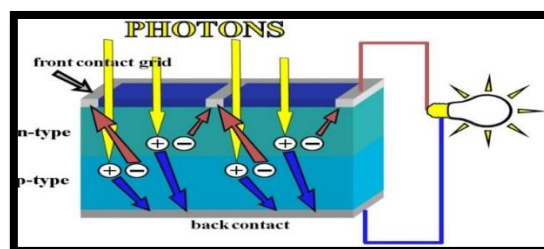
WP adalah singkatan dari Watt-Peak yaitu istilah yang biasa digunakan dalam dunia solar energy. WP menggambarkan besarnya nominal Watt tertinggi yang dapat dihasilkan dari sebuah solar sistem, karena energi dari sinar matahari yang bisa berubah-ubah dalam satu hari. Dalam sebuah grafik dari hasil laboratorium tentang ukuran kekuatan daya listriknya per satuan waktu, akan tampak seperti gelombang, ada puncak (Peak) dan ada lembahnya. Contohnya solar cell yang memiliki daya 10 WP, artinya seberapa kuatnya sinar matahari pada saat itu, maksimal daya yang dapat diserap atau output energi yang dihasilkan oleh perangkat tersebut hanya 10 Watt.

(Sumber : <http://www.solarpanelindonesia.com>)

2.1.1 Prinsip Dasar Teknologi Solar Cell (*Photovoltaic*) Dari Bahan Silicon

Solar cell merupakan suatu perangkat semikonduktor yang dapat menghasilkan listrik jika diberikan sejumlah energi cahaya. Semikonduktor adalah sebuah bahan dengan konduktivitas listrik yang berada di antara insulator (isolator) dan konduktor, suatu semikonduktor bersifat sebagai insulator jika tidak diberi arus listrik dan besaran arus tertentu, namun pada temperatur, arus tertentu, tatacara tertentu dan persyaratan kerja semikonduktor berfungsi sebagai konduktor, misal sebagai penguat arus, penguat tegangan dan penguat daya. Proses penghasilan energi listrik terjadi jika pemutusan ikatan elektron pada atom-atom yang tersusun dalam Kristal semikonduktor ketika diberikan sejumlah energi. Salah satu bahan semikonduktor yang biasa digunakan sebagai sel surya adalah Kristal silicon

Cara kerja solar cell dapat dilihat pada gambar 2.2.

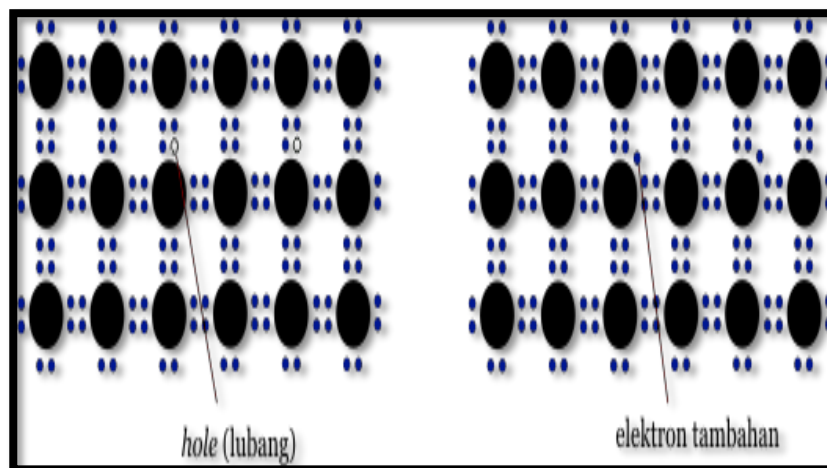


Gambar 2.2 Cara Kerja Solar Cell.

2.1.2 Semikonduktor Tipe P dan Tipe N

Ketika suatu Kristal silikon ditambahkan dengan unsur golongan kelima, misalnya arsen, maka atom-atom arsen itu akan menempati ruang diantara atom-atom silicon yang mengakibatkan munculnya elektron bebas pada material campuran tersebut. Elektron bebas tersebut berasal dari kelebihan elektron yang dimiliki oleh arsen terhadap lingkungan sekitarnya, dalam hal ini adalah silicon. Semikonduktor jenis ini kemudian diberi nama semikonduktor tipe-n. Hal yang sebaliknya terjadi jika Kristal silicon ditambahkan oleh unsur golongan ketiga, misalnya boron, maka kurangnya electron valensi boron dibandingkan dengan silicon mengakibatkan munculnya hole yang bermuatan positif pada semikonduktor tersebut. Semikonduktor ini dinamakan semikonduktor tipe-p. Adanya tambahan pembawa muatan tersebut mengakibatkan semikonduktor ini akan lebih banyak menghasilkan pembawa muatan ketika diberikan sejumlah energi tertentu, baik pada semikonduktor tipe-n maupun tipe-p.

Semikonduktor tipe-n maupun tipe-p dapat dilihat pada gambar 2.3.



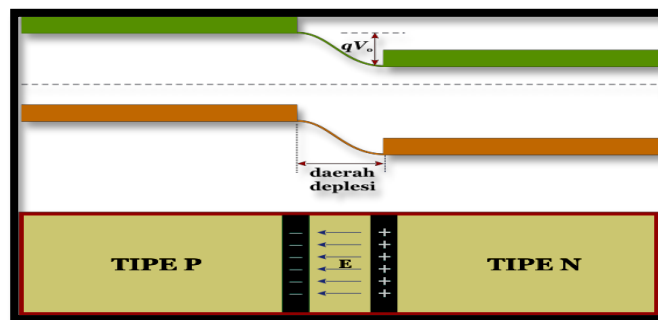
Gambar 2.3 Semikonduktor Tipe-P (Kiri) dan Tipe-N (Kanan)

2.1.3 Sambungan P-N

Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n disambungkan maka akan terjadi difusi hole dari tipe-p menuju tipe-n dan difusi electron dari tipe-n menuju tipe-p. Difusi tersebut akan meninggalkan daerah yang lebih positif pada batas tipe-

n dan daerah lebih negative pada batas tipe-p. Adanya perbedaan muatan pada sambungan p-n disebut dengan daerah deplesi akan mengakibatkan munculnya medan listrik yang mampu menghentikan laju difusi selanjutnya. Medan listrik tersebut mengakibatkan munculnya arus drift. Arus drift yaitu arus yang dihasilkan karena kemunculan medan listrik. Namun arus ini terimbangi oleh arus difusi sehingga secara keseluruhan tidak ada arus listrik yang mengalir pada semikonduktor sambungan p-n tersebut

Dibawah ini terdapat diagram energi sambungan p-n pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Diagram Energi Sambungan P-N Munculnya Daerah Deplesi.

Sebagaimana yang kita ketahui bersama, electron adalah partikel bermuatan yang mampu dipengaruhi oleh medan listrik. kehadiran medan listrik pada electron dapat mengakibatkan electron bergerak. Hal inilah yang dilakukan pada *solar cell* sambungan p-n, yaitu dengan menghasilkan medan listrik pada sambungan p-n agar electron dapat mengalir akibat kehadiran medan listrik tersebut.

(Sumber : <http://energisurya.files.com>)

2.1.4 Prinsip Kerja Solar Cell

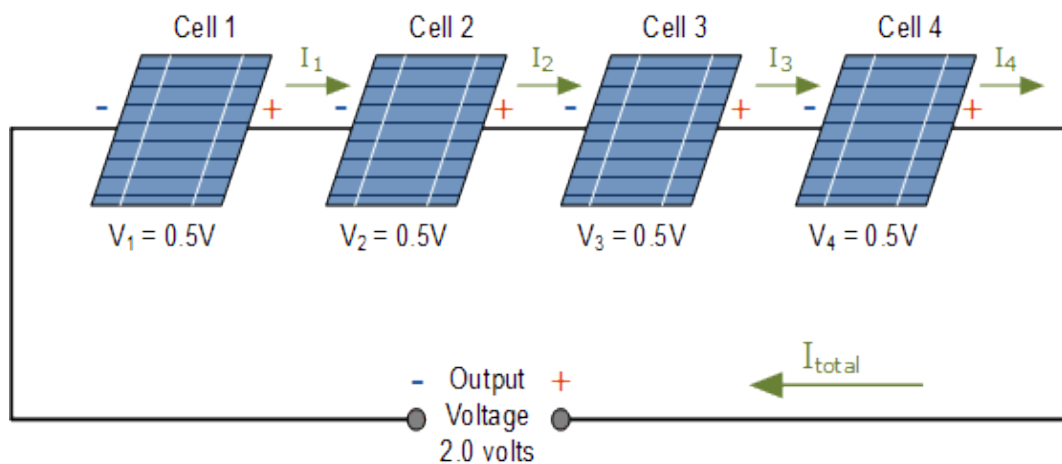
Pada saat semikonduktor jenis p dan tersambung, maka mulailah proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi, semikonduktor n berada pada lapisan atas sambungan p yang menghadap kearah datangnya cahaya matahari, dan dibuat jauh lebih tipis dari semikonduktor p, sehingga cahaya matahari yang jatuh

ke permukaan solar cell dapat terus terserap dan masuk ke daerah deplesi atau semikonduktor p. Ketika sambungan semikonduktor ini terkena cahaya matahari, maka elektron mendapat energi dari cahaya matahari untuk melepaskan dari semikonduktor n, terlepasnya elektron ini meninggalkan hole pada daerah yang ditinggalkan oleh elektron yang disebut dengan fotogenerasi elektron-hole. Terbentuknya pasangan elektron dan hole akibat cahaya matahari.

2.1.5 Sistem Instalasi Solar Cell.

A. Rangkaian Seri Solar Cell.

Hubungan seri dari solar cell dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Rangkaian Solar Cell Hubungan Seri.

Pada gambar 2.5, empat sel surya yang terhubung bersama-sama dalam kombinasi seri, tegangan output yang dihasilkan oleh setiap sel surya adalah 0,5 volt, maka gabungan dari tegangan output akan menjadi jumlah sel tegangan menjadi 2 V.

Dengan rumus :

$$\begin{aligned} V_{\text{total}} &= V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \dots\dots\dots (2.1) \\ &= 0,5 \text{ V} + 0,5\text{V} + 0,5\text{V} + 0,5\text{V} \\ &= 2.0 \text{ V} \end{aligned}$$

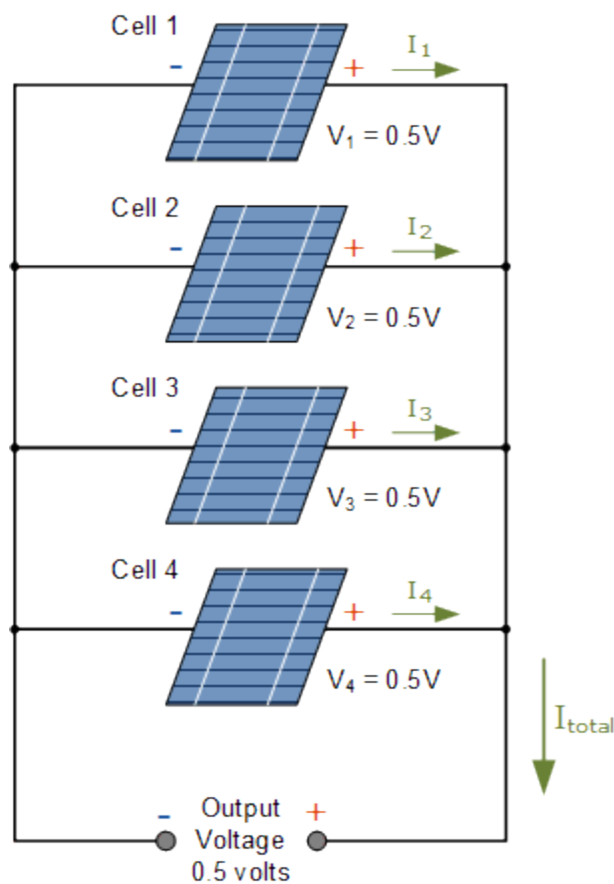
Pada rangkaian seri, gabungan arus keluaran adalah sama dengan yang dihasilkan oleh setiap sel,

$$\text{maka: } I_{\text{total}} = I_1 = I_2 = I_3 = I_4 \dots\dots\dots (2.2)$$

Kekurangan dari rangkaian seri yaitu jika satu sel surya ada yang rusak, atau rusak sebagian atau sepenuhnya berbayang dari sinar matahari, maka efeknya akan mengakibatkan hilangnya beberapa output daya, dan juga ada risiko jika sel berbayang dari sinar matahari dapat menyebabkan *overheating*.

B. Rangkaian Pararel Solar Cell.

Hubungan parallel dari *solar cell* dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Rangkaian Solar Cell Hubungan Paralel.

Pada gambar 2.6, empat sel surya yang terhubung bersama-sama dalam kombinasi paralel, tegangan output gabungannya sama dengan yang dihasilkan oleh setiap sel, kutub negatif (-) *solar cell* akan terhubung ke kutub positif *solar cell*, dalam rangkaian paralel ini tegangan yang dihasilkan semua sel sama.

$$\text{maka: } V_{\text{total}} = V_1 = V_2 = V_3 = V_4 \dots\dots\dots (2.3)$$

Arus keluaran yang dihasilkan oleh setiap sel adalah 1,0 ampere, maka gabungan arus keluaran akan menjadi jumlah dari arus setiap sel output.

Dengan rumus:

$$\begin{aligned} I_{\text{total}} &= I_1 + I_2 + I_3 + I_4 \dots\dots\dots (2.4) \\ &= 1.0 \text{ A} + 1.0 \text{ A} + 1.0 \text{ A} + 1.0 \text{ A} \\ &= 4.0 \text{ A} \end{aligned}$$

2.2 Solar Charge Controller

Solar Charge Controller adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan dari baterai ke beban, yang fungsinya untuk mengatur *overcharging* (kelebihan pengisian - karena baterai sudah 'penuh') dan kelebihan tegangan dari *solar cell* atau panel surya. *solar cell* 12 Volt memiliki tegangan output 16 - 21 Volt yang umumnya di-charge pada tegangan 14 – 14,7 Volt. Tanpa *solar charge controller*, baterai akan rusak oleh over-charging dan ketidakstabilan tegangan. Bila baterai sudah penuh terisi maka secara otomatis pengisian arus dari *solar cell* akan berhenti dan dideteksi 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.

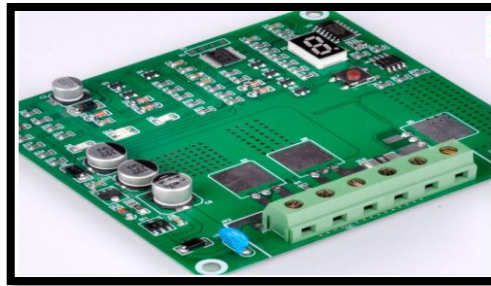
(Sumber: <http://www.panelsurya.com/12-solar-charge-controller-solar-controller>)

Solar Charge Controller dapat dilihat pada gambar 2.7



Gambar 2.7 Solar Charge Controller

Berikut ini merupakan sebuah modul rangkaian *Solar Charge Controller*, dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Modul Rangkaian *Solar Charge Controller*

2.2.1 Prinsip kerja *Solar Charge Controller*

Prinsip kerja *Solar Charge Controller* terbagi menjadi dua yaitu pada saat mode charging dan mode operation.

1. Mode Charging: pengisi baterai dan menjaga pengisian jika baterai sudah mulai penuh.
2. Mode Operation: Penggunaan baterai ke beban, baterai ke beban akan diputus jika baterai sudah mulai 'kosong'.

Charging Mode *Solar Charge Controller*, dalam mode charging, umumnya baterai diisi dengan metoda three stage charging:

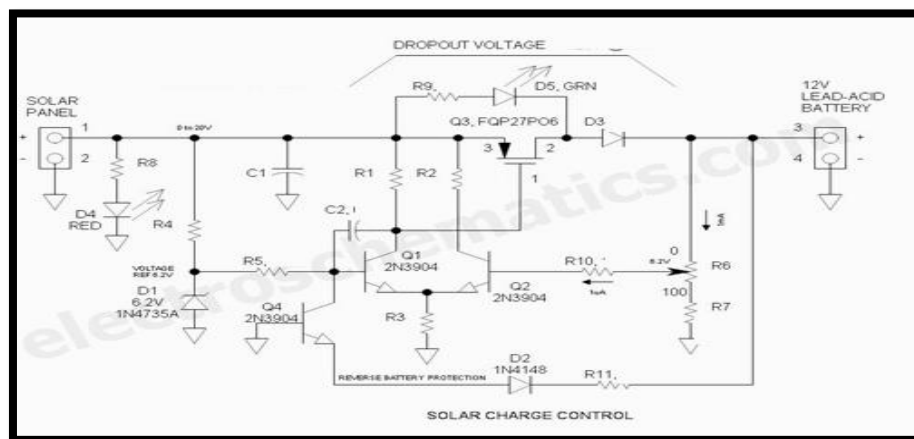
1. Fase bulk yaitu baterai akan di-charge sesuai dengan tegangan setup (bulk - antara 14.4 - 14.6 Volt) dan arus diambil secara maksimum dari panel surya / solar cell. Pada saat baterai sudah pada tegangan setup (bulk) dimulailah fase absorption.
2. Fase absorption yaitu pada fase ini, tegangan baterai akan dijaga sesuai dengan tegangan bulk, sampai *solar charge controller* timer (umumnya satu jam) tercapai, arus yang dialirkan menurun sampai tercapai kapasitas dari baterai.

3. Fase float yaitu baterai akan dijaga pada tegangan float setting, beban yang terhubung ke baterai dapat menggunakan arus maksimum dari panel surya / solar cell pada stage ini.

Mode Operation *Solar Charge Controller*, Pada mode ini apabila ada over-discharge atau over-load, maka baterai akan dilepaskan dari beban, hal ini berguna untuk mencegah kerusakan dari baterai.

(Sumber: <http://www.panelsurya.com/index.php/id/charge-controller/cara-kerja-solar-controller>)

Berikut ini merupakan contoh Rangkaian *solar charge controller* dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Rangkaian *solar charge controller*

2.3 Baterai

Baterai adalah sebuah komponen yang dapat menyimpan energi berupa energi listrik dalam bentuk energi kimia atau konversi energi yang bekerja berdasarkan prinsip elektrokimia. Jadi, baterai sebenarnya merupakan sebuah sel elektrokimia. Sel elektrokimia dapat dibagi menjadi dua, yaitu: sel galvanis dan sel elektrolisa. Sel galvanis, yang juga disebut sel volta, merubah energi kimia menjadi kerja listrik sedangkan sel elektrolisa merubah kerja listrik untuk menggerakkan reaksi kimia tak spontan. Dalam baterai biasa, komponen kimia terkandung dalam alat itu sendiri. Jika reaktan dipasok dari sumber luar ketika dikonsumsi, alat ini disebut sel bahan bakar (fuel cell). Tegangan baterai ditentukan oleh jumlah 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 baterai standar tersebut adalah 12 volt sampai 12,6 volt, kapasitas baterai ditentukan dengan satuan Amper-jam (*Ampere-hours* atau disingkat dengan satuan Ah), yaitu ukuran besarnya daya penyimpanan.

Komponen utama sebuah baterai terdiri dari dua bahan konduktor tak sejenis (elektroda) yang dicelupkan dalam larutan yang mampu menghantarkan listrik (elektrolit), salah satu elektroda akan bermuatan listrik positif dan yang lain negatif. Ujung elektroda yang menonjol diatas elektrolit dikenal sebagai terminal positif dan terminal negative, ketika kedua terminal dihubungkan dengan kawat konduktor (misalnya tembaga), arus listrik akan mengalir melalui kawat dari terminal negatif ke positif. Beda potensial atau tekanan listrik antar terminal tergantung pada bahan elektroda dan elektrolit dan diukur dalam volt.

2.3.1 Prinsip Kerja Baterai

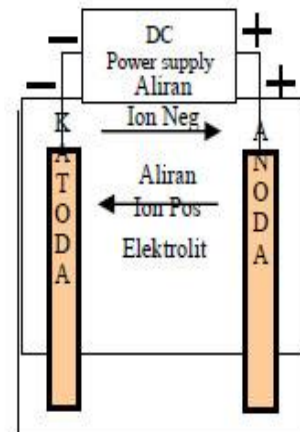
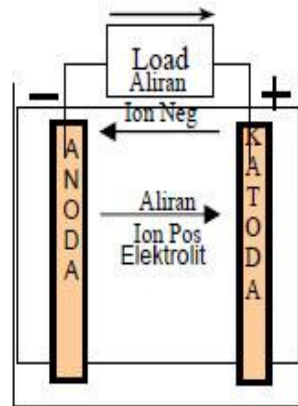
Diketahui :

1. Kutub positif (anode) terbuat dari timbal dioksida (PbO_2)
2. Kutub negatif (katode) terbuat dari timbal murni (Pb)
3. Larutan elektrolit terbuat dari asam sulfat (H_2SO_4)

Pada prinsipnya, baterai bekerja dengan dua cara yaitu pada saat pengosongan (pemakaian) dan pada saat pengisian (Recharging).

1. Proses pengosongan (Discharge), bila sel dihubungkan dengan beban maka, elektron mengalir dari anoda melalui beban ke katoda, kemudian ion-ion negatif mengalir ke anoda dan ion-ion positif mengalir ke katoda. Arus listrik dapat mengalir disebabkan adanya elektron yang bergerak dari elektroda sel melalui reaksi ion antara molekul elektroda dengan molekul elektrolit sehingga memberikan jalan bagi elektron untuk mengalir. Dapat dilihat pada gambar 2.10.

2. proses pengisian (Recharge), bila sel dihubungkan dengan power supply maka elektroda positif menjadi anoda dan elektroda negatif menjadi katoda. Dapat dilihat pada gambar 2.11.



(A). Gambar 2.10 proses pengosongan (discharge) (B). Gambar 2.11 proses pengisian (Recharge)

2.3.2 Jenis - Jenis Baterai Berdasarkan Sifatnya

Dalam pemakaiannya, baterai ada yang tidak bisa diisi ulang dan ada yang bisa diisi ulang, jenis baterai yang tidak bisa diisi ulang disebut baterai primer dan yang bisa diisi ulang disebut baterai sekunder.

A. Baterai jenis primer

Baterai jenis Primer atau Baterai sekali pakai merupakan baterai yang paling sering digunakan, hal ini dikarenakan penggunaannya yang luas dengan harga yang lebih terjangkau. Baterai jenis ini pada umumnya memberikan tegangan 1,5 Volt dan terdiri dari berbagai jenis ukuran seperti AAA (sangat kecil), AA (kecil) dan C (medium) dan D (besar). Pada waktu baterai jenis primer ini digunakan, material dari salah satu elektroda menjadi larut dalam elektrolit dan tidak dapat dikembalikan dalam keadaan semula.

B. Baterai jenis sekunder

Baterai Sekunder adalah baterai yang dapat di isi ulang kembali atau Rechargeable Battery. Pada waktu pengisian baterai, elektroda dan elektrolit mengalami perubahan kimia dan dapat dimuati kembali ke kondisi semula setelah kekuatannya melemah yaitu dengan melewati arus dengan arah berlawanan pada saat baterai digunakan. Baterai pada *solar cell* berfungsi untuk menyimpan energi listrik cadangan ketika cuaca mendung atau hujan serta pada saat malam hari. Pada prinsipnya, Baterai Sekunder menghasilkan arus listrik adalah sama dengan Baterai Primer. Reaksi Kimia pada Baterai Sekunder ini dapat berbalik (Reversible). Pada saat Baterai digunakan dengan menghubungkan beban pada terminal Baterai (discharge), Elektron akan mengalir dari Negatif ke Positif. Sedangkan pada saat Sumber Energi Luar (Charger) dihubungkan ke Baterai Sekunder, elektron akan mengalir dari Positif ke Negatif sehingga terjadi pengisian muatan pada baterai.

(Sumber : <http://elektindo.com/link/kelebihan-baterai-sekunder>)

2.3.3 Jenis - Jenis Baterai Berdasarkan Tipenya

A. Baterai tipe basah (*Wet Type*)

Baterai tipe basah (*wet type*) terdiri dari elemen-elemen yang telah diisi penuh dengan muatan listrik (*full charged*) dan dalam penyimpanannya telah diisi dengan elektrolit. Baterai ini tidak bisa dipertahankan tetap dalam kondisi *full charge*. Sehingga harus diisi (*charge*) secara periodik. Selama baterai tidak digunakan dalam penyimpanan, akan terjadi reaksi kimia secara lambat yang menyebabkan berkurangnya kapasitas baterai, reaksi ini disebut "*self Discharge*". Baterai tipe basah dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Baterai tipe Basah

Baterai tipe kering (*Dry Type*) terdiri dari plat-plat (positip & negatip) yang telah diisi penuh dengan muatan listrik, tetapi dalam penyimpanannya tidak diisi dengan elektrolit. Jadi keluar pabrik dalam kondisi kering. Pada dasarnya baterai ini sama seperti dengan baterai tipe basah. Elemen-elemen baterai ini diisi secara khusus dengan cara memberikan arus DC pada plat yang direndamkan ke dalam larutan elektrolit lemah. Setelah plat-plat itu terisi penuh dengan muatan listrik, kemudian diangkat dari larutan elektrolit lalu dicuci dengan air dan dikeringkan. Kemudian plat-plat tersebut dirangkai dalam case baterai. Sehingga bila baterai tersebut akan dipakai, cukup diisi elektrolit dan langsung bisa digunakan tanpa *discharge* kembali.

Baterai tipe kering dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Baterai tipe kering /MF

2.3.4 Rumus Penggunaan Baterai

untuk menentukan baterai yang digunakan dapat dengan rumus:

$$h = \frac{\text{Tegangan baterai (V)} \times \text{Arus (Ah)}}{\text{Beban pemakaian}} \dots\dots\dots (2.5)$$

untuk mengetahui lama pengisian baterai, dapat dengan rumus:

$$\text{Lama pengisian (h)} = \frac{\text{Besar kapasitas (Ah)}}{\text{Besar arus Charger (A)}} \dots\dots\dots (2.6)$$

2.4 Inverter

Pengertian Inverter termasuk rangkaian elektronika daya yang biasanya berfungsi untuk melakukan konversi atau mengubah tegangan DC (searah) menjadi tegangan AC (bolak-balik). Inverter Sebenarnya adalah kebalikan dari converter

atau yang lebih dikenal dengan adaptor yang memiliki fungsi mengubah tegangan AC (bolak-balik) menjadi tegangan DC (searah). Seperti yang kita ketahui, saat ini telah ada beberapa topologi inverter yang tersedia, dimulai dari jenis inverter yang memiliki fungsi hanya dapat menghasilkan tegangan bolak balik saja atau push pull inverter hingga dengan inverter dengan kemampuan hasil tegangan sinus murni tanpa efek harmonisasi.

Yang terakhir ada jenis inverter yang digolongkan menjadi beberapa jenis inverter berdasarkan fasa, yaitu 1 fasam 3 fasa hingga multi fasa.



Gambar 2.14 Inverter

2.4.1 Fungsi Inverter

Sesuai dengan pengertian inverter yang menyatakan inverter ini berfungsi untuk mengubah tegangan DC (searah) menjadi tegangan AC (bolak-balik). Dimana perubahan ini dilakukan untuk mengubah kecepatan motor bertegangan AC dengan mengubah frekuensi outputnya saja. Jadi bisa dikatakan inverter ini merupakan perangkat yang multifungsi, bahkan tak hanya diubah melainkan dapat dikembalikan lagi. Inverter telah banyak digunakan pada bidang industri. Dimana aplikasi inverter yang sudah terpasang akan diproses secara linear yakni parameter yang dapat diubah-ubah. Linear disini yang dimaksud inverter ini memiliki bentuk seperti grafik sinus, dll. Inverter juga memerlukan waktu yang cukup lama untuk melakukan perputaran yang presisi

2.4.2 Bagaimana Cara Kerja Inverter

Adapun Cara kerja inverter ini yaitu inverter dapat melakukan perubahan yakni mengubah input motor tenaga listrik AC menjadi tegangan listrik DC,



kemudian dipecah lagi menjadi AC dan frekuensi, sehingga motor listrikmuang digunakan dapat dikontrol sesuai kecepatan yang dikehendaki. Perlu anda ketahui bahwa ada cukup banyak beberapa teknik yang kendali yang bisa digunakan untuk menjaga inverter agar dapat menghasilkan sinyal sinusoidal. Cara yang sering digunakan umum adalah cara dari modulasi lebar pulsa (PWM).

2.5 Daya Pada Panel Surya

Daya listrik adalah besaran listrik yang menyatakan besarnya energi yang digunakan untuk mengaktifkan komponen atau peralatan listrik/elektronik. Intensitas cahaya menentukan besarnya daya dari energi sumber cahaya yang sampai pada seluruh permukaan sel surya. Jika luas permukaan sel surya (A) dengan intensitas tertentu, maka daya masukan sel surya adalah:

$$P_{in} = I_r \cdot A \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

- P_{in} = Daya yang diterima akibat imadiance matahari (Watt)
- I_r = Intensitas Cahaya (W/m^2)
- A = Luas permukaan sel surya (m^2)

Besar daya keluaran sel surya (P_{out}) yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) arus hubungan singkat (I_{sc}), dan *fill factor* (FF) yang dihasilkan oleh sel surya dapat dihubungkan dengan rumus

$$P_{out} = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

- P_{out} = Daya yang dibangkitkan oleh sel surya (Watt)
- V_{oc} = Tegangan rangkaian terbuka pada sel surya (Volt)
- I_{sc} = Arus hubung singkat pada sel surya (amper)
- FF = *Fill Factor* (faktor pengisi)

Faktor pengisi (*fill factor*, FF) merupakan nilai rasio tegangan dan arus pada keadaan daya maksimum dan tegangan open circuit (V_{oc}) dan arus *short circuit* (I_{sc})

$$FF = \frac{V_{oc} - I_n(V_{oc} + 0,72)}{V_{oc} + 1} \dots\dots\dots(2.9)$$



Dimana:

V_{oc} = Tegangan rangkaian terbuka pada sel surya (volt)

2.6 Arus dan Tegangan

Besaran muatan listrik ditentukan oleh jumlah elektron dibandingkan dengan jumlah proton dalam suatu objek. Simbol untuk besaran muatan elektron ialah Q dan satuannya adalah coulomb. Besarnya muatan $1C = 6,25 \times 10^{18}$ elektron. Kemampuan muatan listrik untuk mengerahkan suatu gaya dimungkinkan oleh keberadaan medan elektrostatik yang mengelilingi objek yang bermuatan tersebut. Suatu muatan listrik memiliki kemampuan untuk melakukan kerja akibat tarikan atau tolakan yang disebabkan oleh gaya medan elektrostatiknya.

Kemampuan melakukan kerja ini disebut pontensial. Apabila satu muatan berbeda dan muatan lainnya, di antara kedua muatan ini pasti terdapat beda pontensial. Satuan dasar beda pontensial adalah volt (V) karena satuan inilah beda potensial V sering disebut sebagai voltage atau tegangan. Daya listrik yang dihasilkan oleh sel surya merupakan hasil perkalian dari tegangan keluaran dengan banyaknya elektron yang mengalir atau besarnya arus, hubungan tersebut ditunjukkan pada persamaan 2.12, sedangkan nilai rerata daya yang dihasilkan selama titik pengujian ditunjukkan pada persamaan 2.13.

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2.10)$$

Dengan: P = Daya keluaran (Watt)

V =Tegangan keluaran (Volt)

I = Arus (Amper)

$$P \text{ Rata-rata} = \frac{P_1+P_2+\dots+P_n}{n} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dengan:

Prata-rata = Daya rata-rata (Watt)

P_1 = Daya pada titik pengujian ke satu

P_2 = Daya pada titik pengujian ke dua

P_n = Daya pada titik pengujian ke n



$$P_{total} = P_1 + P_2 + \dots + P_n \dots\dots\dots(2.12)$$

2.7 Efisiensi Pada Sel Surya

Energi cahaya yang diterima oleh sel surya dapat diubah menjadi energi listrik. Semakin besar energi cahaya yang diserap maka semakin besar energi listrik yang dapat di hasilkan. Maka konversi energi ini pun memiliki nilai efisiensi didalam nya. Efisiensi keluaran maksimum (η) didefinisikan sebagai presentase keluaran daya optimum terhadap energi cahaya yang digunakan, yang dituliskan sebagai berikut (Amalisa, Satwiko, 2010:160) :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

η = Efisiensi sel surya (%)

P_{out} = Daya yang dibangkitkan oleh sel surya (Watt)

P_{in} = Daya yang diterima akibat *irradiance* matahari (Watt)

Salah satu ukuran performansi sel surya adalah efisiensi, yaitu persentase perubahan energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Efisiensi sel surya bervariasi dari 6% untuk sel surya berbasis silikon amorf ke 44,0% dengan sel produksi *multi-junction* dan 44,4% dengan beberapa ini dirakit menjadi paket *hybrid*. Efisiensi konversi energi sel surya untuk tersedia secara komersial *multicrystalline* Sel surya silikon sekitar 14-19% Sel-sel efisiensi tertinggi tidak selalu yang paling ekonomis - misalnya 30% efisien *multi-junction* sel berdasarkan bahan eksotis.