

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

2.1.1. Sel Surya

Sel surya atau sel photovoltaic berasal dari bahasa Inggris “Photo Voltaic”. Kata photovoltaic berasal dari dua kata “photo” berasal dari kata Yunani yakni “phos” yang berarti cahaya, dan kata “volt” adalah nama satuan pengukuran arus listrik yang diambil dari nama penemu Alessandro Volta (1745-1827), sebagai pionir dalam mempelajari teknologi kelistrikan. Jadi secara harfiah “photovoltaic” mempunyai arti Cahaya-Listrik, dan itu dilakukan sel surya yaitu mengkonversi energi dari energi surya menjadi energi listrik. Keluaran dari panel surya menghasilkan tegangan DC. Daya input dari panel surya adalah intensitas cahaya matahari dan luas penampang panel surya.

Struktur sel surya yaitu berupa diode sambungan (junction) antara dua lapisan yang terbuat dari semikonduktor yang masing-masing diketahui sebagai jenis semikonduktor p (positif) dan semikonduktor jenis n (negatif). Semikonduktor jenis n merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan muatan negatif. Sedangkan semikonduktor jenis p memiliki kelebihan hole, sehingga kelebihan muatan positif. Proses pengubahan atau konversi cahaya matahari menjadi listrik ini karena divais sel surya memiliki struktur dioda, yaitu tersusun atas dua jenis semikonduktor, yakni jenis n dan jenis p. caranya dengan menambah unsur lain ke dalam semikonduktor, maka dapat mengontrol jenis semikonduktor tersebut.^[1]

2.1.2 cara kerja panel surya

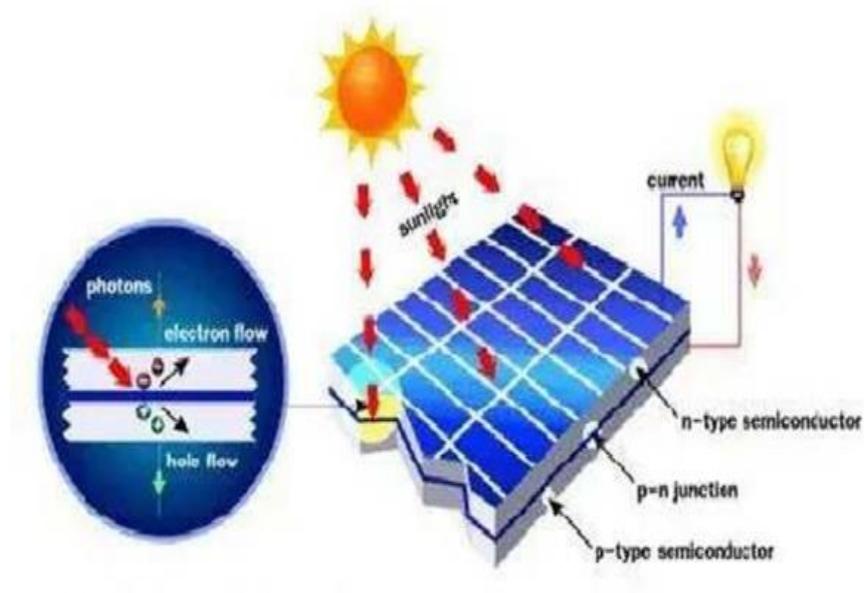
Cara kerja panel surya ini juga masih berkaitan dengan efek *photovoltaic*. Sinar matahari saat sampai di bumi memiliki partikel yang sangat kecil yang biasa disebut dengan foton. Dalam sel surya sendiri terdapat berbagai rangkaian semikonduktor yang terdiri dari atom-atom. Ketika foton menghantam atom tersebut maka energinya mampu memisahkan elektron dari atom tersebut.

Pada akhirnya, elektron yang memiliki muatan negatif akan bergerak pada daerah pita konduksi dan material semikonduktor. Atom akan kehilangan elektron dan bisa disebut dengan *hole* dengan muatan positif. Karena terjadi kekosongan sebab kehilangan elektron.

Pada daerah semikonduktor yang memiliki elektron bebas ini memiliki sifat negatif dan memiliki tugas untuk mendonor elektron. Pada daerah ini dinamakan dengan semikonduktor dengan tipe N. Sedangkan untuk semikonduktor dengan *hole* yang memiliki sifat positif ini memiliki tugas untuk menerima elektron yang dinamakan dengan semikonduktor tipe P.

Pada pertemuan antara daerah positif dan juga daerah positif ini akan menimbulkan suatu energi yang mana akan mendorong elektron dan *hole* untuk melakukan gerakan yang berlawanan. Elektron akan menjauhi daerah negatif dan *hole* akan menjauhi daerah positif.

Sehingga ketika diberikan sebuah beban dengan menggunakan perangkat listrik maka akan menimbulkan arus listrik. Pada dasarnya panel surya ini merupakan suatu diode foto yang memiliki permukaan yang sangat besar sehingga dapat menangkap sinar matahari lebih banyak sehingga dapat menghasilkan energi listrik yang lebih besar pula.



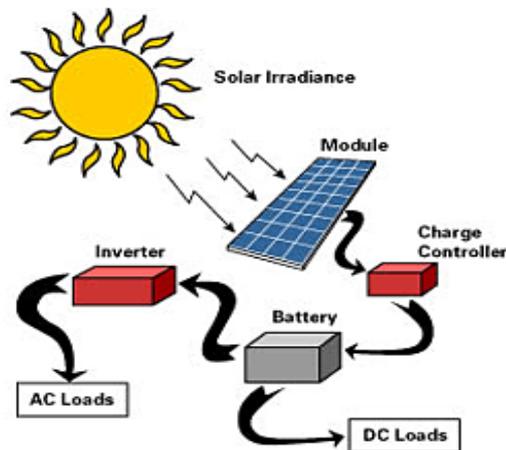
Gambar 2.1 cara kerja panel surya

Sel Surya (Solar Cell)

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.



Gambar 2.2 Sell Surya

2.1.2. Jenis-Jenis Panel Surya

a) Monokristal (Mono-crystallin)

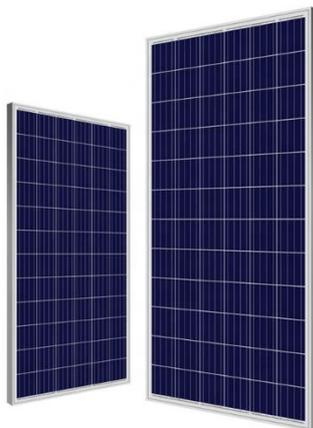
Merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini dan menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Monokrital dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dan dengan kondisi alam yang sangat ganas. Memiliki efesiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.



Gambar 2.3. Monokristal (Mono-crystalline)

b) Polikristal (Poly-Crystalline)

Merupakan Panel Surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikan dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih rendah.



Gambar 2.4. Polikristal (Poly-Crystalline)

c) Thin Film Photovoltaic

Merupakan Panel Surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis mikrokrystalsilicon dan amorphous dengan efisiensi modul hingga 8.5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar dari pada monokristal dan polikristal. Inovasi terbaru adalah Thin Film Triple Junction Photovoltaic (dengan tiga lapisan) dapat berfungsi sangat efisien dalam udara yang sangat berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% lebih tinggi dari panel jenis lain dengan daya yang diterima setara.



Gambar 2.5. Thin Film Photovoltaic

2.3.1 Prinsip Kerja Sel Surya (*Solar Cell*)

Prinsip kerja pengonversian tenaga surya menjadi tenaga listrik melalui sel surya dapat dilihat pada gambar 2.9. yang melalui tahapan proses :

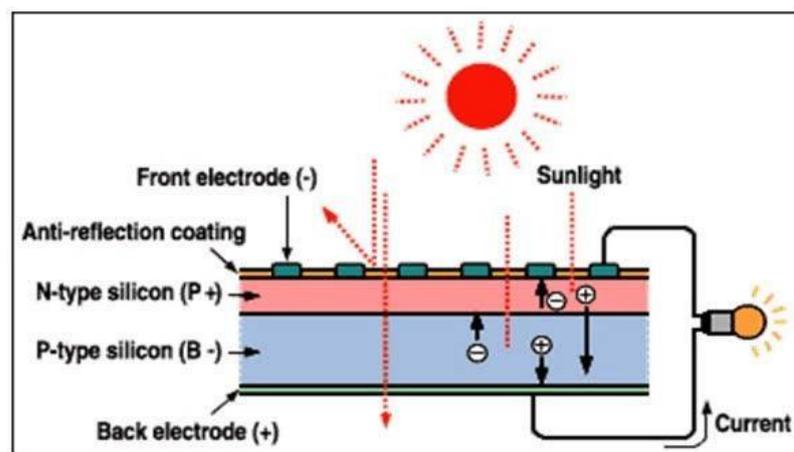
1. Absorpsi cahaya dalam semikonduktor
2. Membangkitkan serta memisahkan muatan positif dan negatif bebas ke daerah-daerah lain dari sel surya. untuk membangkitkan tegangan dalam sel surya
3. Memindahkan muatan-muatan yang terpisah tersebut ke terminal-terminal listrik dalam bentuk aliran tenaga listrik.

Prinsip kerja sel surya silikon adalah berdasarkan konsep semikonduktor p-n junction. Sel terdiri dari lapisan semikonduktor doping-n dan doping-p yang membentuk p-n junction. lapisan anti

refleksi. dan substrat logam sebagai tempat mengalirnya arus dari lapisan tipe-n (elektron dan tipe-p (hole).

Semikonduktor tipe-n didapat dengan mendoping silikon dengan unsur darigolongan V sehingga terdapat kelebihan elektron valensi dibanding atom sekitar. Pada sisi lain semikonduktor tipe-p didapat dengan doping oleh golongan III sehingga elektron valensinya defisit satu dibanding atom sekitar.

Ketika dua tipe material tersebut mengalami kontak maka kelebihan elektron dari tipe-n berdifusi pada tipe-p. Sehingga area doping-n akan bermuatan positif sedangkan area doping-p akan bermuatan negatif. Medan elektrik yang terjadi padakeduanya mendorong elektron kembali ke daerah-n dan hole ke daerah-p. Pada proses ini telah terbentuk p-n junction (Eko et al. n.d.)



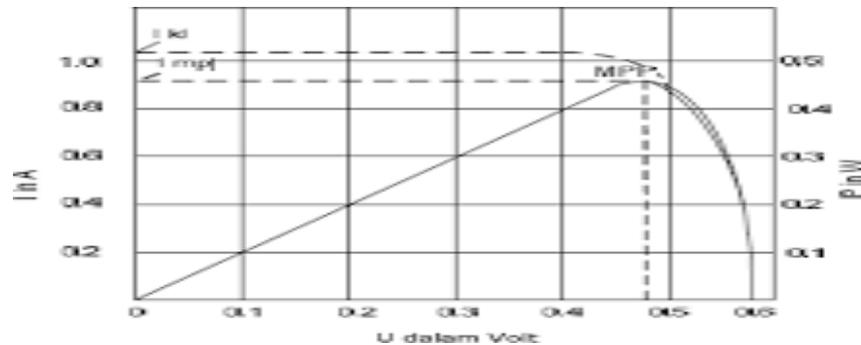
Gambar 2. 6 Proses Pengubahan Energi Matahari menjadi Energi Listrik Pada Sel Surya

2.3.2 Karakteristik Sel Surya (*Solar Cell*)

Solar cell atau panel surya menghasilkan arus, dan arus ini beragam tergantung pada tegangan *solar cell*. Karakteristik tegangan-arus biasanya menunjukkan hubungan tersebut. Ketika tegangan solar cell sama dengan nol atau digambarkan sebagai “solar cell hubung pendek”. “arus rangkaian pendek” atau I_{sc} (*short circuit current*), yang sebanding dengan irradiansi terhadap sel surya dapat diukur. Nilai I_{sc} naik dengan meningkatnya temperatur, meskipun temperatur standar yang tercatat untuk arus rangkaian pendek adalah 25° C. Jika arus solar cell sama dengan nol, solar cell tersebut digambarkan sebagai “rangkaiannya terbuka”. Tegangan sel surya kemudian menjadi “tegangan rangkaian terbuka”. V_{oc} (*open circuit voltage*). Ketergantungan V_{oc} terhadap irradiansi bersifat logaritmis, dan penurunan yang lebih cepat disertai peningkatan temperatur melebihi kecepatan kenaikan I_{sc} . Oleh karena itu, daya maksimum solar cell dan efisiensi sel surya menurun dengan peningkatan temperatur. Pada kebanyakan solar cell, peningkatan temperatur dari 25° C mengakibatkan penurunan daya sekitar 10%. [4]. Sel surya menghasilkan daya maksimumnya pada tegangan tertentu. Gambar dibawah ini menunjukkan tegangan, arus dan karakteristik tegangan dayanya. Gambar ini juga menunjukkan dengan jelas bahwa kurva daya memiliki titik daya maksimum yang disebut MPP (*Maximum Power Point*). Tegangan titik daya maksimum atau V_{MPP} biasanya kurang dari tegangan rangkaian terbuka dan arusnya, I_{MPP} lebih rendah dibandingkan dengan arus rangkaian pendek. Pada titik daya maksimum (MPP). Panel surya adalah alat yang didalamnya terdiri dari sel surya yang dapat mengubah cahaya dari matahari menjadi listrik. Kemudian nantinya dapat dikonversi menjadi listrik arus searah (DC). Matahari yang merupakan sumber cahaya terkuat yang energinya dapat dimanfaatkan sering disebut surya atau “sol”. Panel surya pun sering disebut sebagai cell photovoltaic, arti lain photovoltaic itu sendiri dapat diartikan sebagai “cahaya-listrik”. Panel surya memiliki beberapa struktur secara umum, diantaranya adalah : □ Metal backing : Adalah material yang menopang seluruh komponen yang ada pada sel surya. Material

ini juga harus memiliki konduktifitas listrik yang baik karena material ini pun berfungsi sebagai kontak terminal positif pada sel surya. □ Material semikonduktor : Material ini adalah material inti dari sel surya karena berfungsi sebagai penyerap cahaya dari sinar matahari. □ Kontak metal : Pada sel surya, sebagian material semikonduktor biasanya diberi lapisan material konduktif transparan sebagai kontak negatif. □ Lapisan anti reflektif : Material ini berfungsi untuk meminimalisir refleksi cahaya agar cahaya yang terserap oleh semikonduktor secara optimal. Material anti refleksi ini adalah lapisan tipis material yang menyebabkan cahaya dibelokkan ke arah semikonduktor. Sehingga meminimumkan cahaya yang dipantulkan kembali. □ Cover glass : Bagian yang berfungsi sebagai material yang melindungi modul surya dari kotoran atau hujan[9]. Adapun karakterisasi pada panel surya berdasarkan intensitas cahaya matahari adalah sebagai berikut : □ Panjang kabel mempengaruhi daya maksimum yang dihasilkan oleh panel surya. Panjang kabel yang dihubungkan dari panel surya dengan beban jika semakin panjang kabel yang digunakan, maka daya maksimum pada panel surya akan mengalami penurunan. 5 □ Kemiringan tata letak panel surya terhadap sudut datangnya cahaya matahari pun mempengaruhi daya maksimum yang dihasilkan panel surya. □ Kondisi cuaca sangat berpengaruh terhadap daya maksimum yang dihasilkan panel surya. Ketika kondisi cerah, daya yang dihasilkan oleh panel surya akan maksimum. Dan jika kondisi cuaca mendung, maka daya yang dihasilkan akan menurun[10].

Arus dan tegangan memiliki hubungan yang sama dengan iradiansi dan temperatur



Gambar 2.7 Grafik Arus Terhadap Tegangan Sebagai Karakteristik Panel Surya

2.1.3. Charge Controller

Controller atau sering dikenal dengan charge controller adalah perangkat elektronik yang digunakan dalam sistem PLTS untuk mengatur pengisian arus searah dari panel surya ke baterai dan mengatur penyaluran arus dari baterai ke peralatan listrik (beban). Alat ini juga mempunyai kemampuan untuk mendeteksi kapasitas baterai. Bila baterai sudah terisi penuh dengan cadangan energi listrik maka penyaluran energi listrik dari panel akan dapat diberhentikan secara otomatis. Controller mengatur overcharging dan kelebihan voltase dari panel surya / solar cell. Kelebihan voltase dan pengisian akan mengurangi umur baterai. Cara alat ini mendeteksi adalah melalui monitor level tegangan baterai.

Charge Controller menerapkan teknologi pulse width modulation (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban. Jadi tanpa solar charge controller, baterai akan rusak oleh overcharging, overvoltage dan monitoring temperatur baterai.



Gambar 2.8. *Solar Charge Controller*

2.1.4 Baterai

Komponen yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan dari penyerapan sinar matahari oleh panel surya adalah baterai. Energi listrik yang disimpan di dalam baterai dapat berguna untuk menyediakan energi listrik saat cahaya matahari tidak terpancarkan secara maksimal seperti saat langit mendung atau hujan dan dimalam hari. Baterai yang digunakan untuk PLTS mengalami proses siklus pengisian (*charging*) dan pengosongan (*discharging*) tergantung pada ada atau tidak adanya sinar matahari. Selama ada sinar matahari maka panel surya akan menghasilkan energi listrik. Apabila energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya melebihi kebutuhan energi listrik maka kelebihan itu akan disimpan dalam baterai. Sebaliknya, saat kebutuhan energi listrik melebihi dari energi yang dihasilkan oleh panel surya maka cadangan energi dari baterai dapat diberikan untuk memenuhi kekurangan energi listrik. Baterai terdiri dari 2 jenis, yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer merupakan baterai yang hanya dapat dipergunakan sekali pemakaian saja dan tidak dapat di isi ulang. Hal ini terjadi karena reaksi kimia material aktifnya tidak dapat dikembalikan. Sedangkan baterai sekunder dapat disii ulang, karena material aktifnya didalam dapat diputar Kembali. Kelebihan dari pada baterai sekunder adalah harganya lebih efisien untuk pengguna jangka panjang.

Ada 2 jenis baterai isi ulang yang bisa digunakan dalam sistem PLTS yaitu baterai asam timbal (*lead acid*) dan baterai nickel-cadmium. Baterai jenis nickel-cadmium ini lebih sedikit digunakan dalam sisitem PLTS karena baterai jenis ini memiliki efisiensi yang rendah dan biaya yang lebih tinggi. Sedangkan untuk baterai jenis asam timbal lebih banyak digunakan dalam sistem PLTS karena memiliki efisiensi yang lebih tinggi dan biayanya yang lebih murah. Umumnya kapasitas baterai itu dinyatakan dalam Ampere-hour (Ah). Nilai Ah pada baterai menunjukkan arus yang dapat dilepaskan dikalikan dengan nilai waktu untuk pelepasan arus tersebut.

Akumulator atau biasa disebut Aki adalah sebuah sel listrik yang didalamnya terjadi proses elektrokimia yang dapat berbalikan (*reversible*) dengan efisiensi yang tinggi. Pengertian dari proses elektrokimia *reversible* tersebut adalah proses berlangsungnya perubahan kimia menjadilistrik yang disebut proses pengosongan. Dan sebaliknya dari listrik menjadi kimia yang disebut proses pengisian. Pengisian kembali dengan cara regenerasi dari

elektroda-elektroda yang dipakainya yaitu dengan cara melewatkan arus listrik dalam arah yang berlawanan didalam sel (polaritas).

Jenis sel Aki biasa juga disebut dengan istilah *storage battery*. Di setiap sel pada Aki terdiri dari 2 macam elektroda yang berlainan, yaitu elektroda + (positif) dan elektroda - (negatif) yang dicelupkan dalam suatu larutan kimia.

Prinsip kerja Aki tergolong menjadi 2 proses, proses pengosongan Aki dan proses pengisian Aki. Proses pengosongan Aki atau biasa disebut discharge pada sel berlangsung. Ketika Aki mengalami discharge/pengosongan, tentunya aki tersebut membutuhkan waktu saat proses tersebut terjadi. Waktu ketika terjadi pengosongan (mem backup ke beban) itu tergantung oleh beban yang digunakan, semakin besarnya energi yang dikeluarkan oleh beban, maka semakin cepat juga waktu pengosongan Aki. Dalam Aki, spesifikasi yang tertera biasanya tegangan dan arus per jam, jika Aki yang digunakan adalah $12\text{ V } 45\text{ Ah}$, maka persamaan yang di gunakan untuk mengetahui daya Aki adalah :

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

Dimana : P = daya (Watt)

I = kuat arus (Ampere)

V = tegangan (Volt)

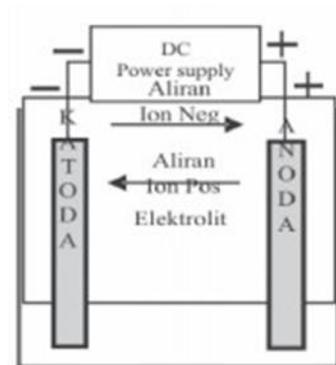
Kemudian untuk menghitung berapa lama kapasitas Aki dapat mensuplai beban dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$t_{aki} = \frac{P_{aki}}{P_{beban}} \quad (2.2)$$

Selanjutnya adalah prinsip kerja Aki ketika pengisian Aki sel menghubungkan dengan *power supply* maka elektroda positif akan menjadi anoda dan elektroda negatif akan menjadi katoda dan proses kimianya akan terjadi sebagai berikut :

- Aliran elektron akan menjadi terbalik ketika proses pengisian, yaitu mengalir dari anoda melalui *power supply* untuk menuju ke katoda.
- Ion-ion positif akan mengalir dari anoda ke katoda.
- Ion-ion negatif akan mengalir dari katoda menuju anoda [14].

Untuk gambar jelasnya dari proses pengisian Aki ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.9 Proses Terjadinya Pengisian Pada Aki (charge)



Gambar 2.10. Baterai

2.1.5 Inverter

Inverter adalah komponen elektronika pendukung panel PV untuk mengubah arus searah (*direct current*, DC) menjadi arus bolak-balik (*alternating current*, AC) yang umumnya peralatan listrik butuhkan. Pemilihan inverter yang tepat untuk aplikasi tertentu tergantung pada kebutuhan beban dan juga kepada sistem itu sendiri; apakah sistem yang terhubung ke jaringan listrik (*grid connected*) atau sistem yang berdiri sendiri (*stand alone system*). Efisiensi inverter pada saat pengoperasian adalah sekitar 90%. Ada tiga kategori inverter, yaitu: *grid-tied*, *grid-tied dengan baterai cadangan*, dan *stand-alone*. Kedua jenis inverter yang pertama adalah inverter *line-tied*, yang di

gunakan dengan sistem panel surya utility-connected. Jenis yang ketiga adalah stand-alone atau inverter off-grid, diciptakan untuk berdiri sendiri.^[4]



Gambar 2.11. Inverter

Ada beberapa jenis gelombang pada inverter antara lain:

1. *Square Wave* / Gelombang Kotak

Inverter jenis ini hanya bisa untuk lampu saja, sedangkan untuk beban seperti TV, komputer bisa merusak inverter dan juga bisa merusak beban. Kelebihan harganya lebih murah karena difungsikan untuk membackup lampu saja. Seiring perkembangan zaman maka inverter square wave ini jarang dijual dipasaran dikarenakan keinginan dari pasar menginginkan untuk membackup selain lampu.

2. *Modified Sine Wave* / Gelombang Modifikasi Sinus

Di belahan dunia juga Indonesia produk inverter dengan jenis inverter modified sine wave ini sering digunakan untuk beban seperti lampu, kipas, komputer, TV, dan lain-lain. Jenis inverter modified sine wave yang beredar pun ada yang memberikan Low noise atau berarti sangat kecil kebisingan suara yang dihasilkan saat beroperasi, dan ada juga yang menghasilkan noise yang besar.

3. *True Sine Wave* / *Pure Sine Wave* / Gelombang Sinus Murni

Dari segi harganya, untuk yang berkualitas harga diatas, harga inverter modified sine wave. Aplikasi yang cocok dari inverter pure sine wave adalah speaker dan peralatan sensitif seperti alat kedokteran.

2.2.5 Watt Meter

Watt meter adalah alat untuk mengukur daya pada beban-beban yang sedang beroperasi. Watt meter dapat digunakan untuk mengukur panel surya agar diketahui berapa P, I, V, Wp, Ap, Ah, Wh yang dihasilkan oleh panel surya pada saat itu. Konsep pemasangan pada Watt meter adalah dengan menghubungkan kabel positif dan negatif yang berada di sebelah kiri (source) dengan kabel positif dan negatif pada panel surya. Setelah itu kabel positif dan negatif yang berada di sebelah kanan (load) dihubungkan pada solar charge controller. Pemasangan watt meter setelah panel surya adalah untuk menampilkan hasil dari panel surya. Cara kerja watt meter ini adalah ketika watt meter terpasang dengan panel surya, maka watt meter akan menampilkan hasil pada layar LCD. Hasil yang di tampilkan adalah P, I, V, Wp, Ap, Ah, Wh. Hasil akan di tampilkan secara teratur dari masing-masing parameter dengan delay waktu kurang lebih selama 3 detik. Ketika watt meter sedang menampilkan hasil dari P, maka hasil yang ditampilkan berikutnya akan muncul setelah delay waktu kurang lebih 3 detik. Dan setelah itu maka watt meter akan memunculkan hasil dari parameter selanjutnya.

Watt meter akan menampilkan hasil Wp dan Ap tertinggi pada hari itu. Ketika cuaca sedang terik dan panel surya menghasilkan Wp dan Ap yang tinggi. Maka hasil akan terus menampilkan nilai tertinggi sebelum keadaan cuaca lebih terik dari sebelumnya. Jika keadaan cuaca mengalami kenaikan panas yang lebih terik, maka watt meter akan menampilkan nilai Wp dan Ap terbaru dengan nilai yang lebih tinggi. Jika keadaan cuaca tidak mengalami kenaikan, maka watt meter akan terus menampilkan nilai yang sama.



Gambar 2.12 watt meter