

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Zaman semakin hari semakin berkembang begitu juga dengan pola hidup manusia yang tergantung dengan teknologi dan kebudayaan modern, gaya hidup modern dapat kita lihat di sekeliling. Elektronik berkembang mengikuti era untuk mempermudah kita dalam melakukan sesuatu hal dalam kehidupan sehari-hari. Perkembangan zaman ini membuat konsumsi listrik juga meningkat, setiap tahun kebutuhan akan energi listrik di dunia akan mengalami pertumbuhan, pemanfaatan energi matahari sebagai pembangkit listrik telah banyak dilakukan dengan menggunakan panel surya. Kebutuhan energi listrik tidak sebanding dengan energi listrik yang tersedia jadi masih banyak yang tak terpenuhi.

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah salah satu alternatif yang dapat menghasilkan energi listrik. Panas dari matahari yang ditangkap menggunakan *photovoltaic* atau panel surya akan menghasilkan energi listrik berupa arus searah (DC). Tetapi tidaklah semua beban listrik itu berupa beban arus searah (DC) ada juga beban arus bolak balik (AC). Agar energi listrik yang dihasilkan dari energi terbarukan ini harus dikonversi, maka inverter dibutuhkan untuk mengkonversinya. Namun faktor cuaca sangat mempengaruhi kinerja dari PLTS. Jika panel surya mendapatkan sinar matahari pada cuaca yang sangat terik, maka tegangan dan arus yang didapat akan besar sehingga baterai cepat terisi, namun jika sebaliknya saat cuaca mendung atau panel surya kurang mendapatkan sinar matahari, maka tegangan dan arus yang didapat selama proses pengisian baterai akan menjadi lama. PLTS dapat digunakan sebagai pengganti sumber tegangan jala-jala jika tidak ada PLN ataupun generator DC sebagai sumber tegangan jala-jala untuk peralatan listrik salah satunya adalah motor induksi satu fasa. Motor induksi satu fasa ini banyak digunakan diperalatan listrik rumah tangga.

Energi listrik yang dihasilkan dari panas matahari dapat menggerakkan motor listrik, di mana motor listrik dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor listrik ada banyak jenisnya, motor listrik yang ada terbagi memiliki dua bagian utama yaitu stator di mana ini adalah bagian yang diam dan rotor adalah bagian yang bergerak. Pada motor listrik arus bolak balik dapat dibagi lagi berdasarkan sumber dayanya yaitu motor sinkron dan motor induksi. Motor induksi ini dapat dikelompokkan yaitu motor induksi satu fasa dan motor induksi tiga fasa.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas yang menjadi rumusan masalah dalam tulisan ini adalah bagaimana jika ada suatu motor induksi satu fasa membutuhkan suplai jala-jala AC satu fasa tetapi tidak ada PLN ataupun generator DC sebagai sumber jala-jala. Maka dari itu digunakanlah PLTS sebagai sumber jala-jala. PLTS akan dijemur untuk mengisi baterai dan digunakan juga inverter untuk mengkonversi tegangan DC menjadi tegangan AC sebelum disuplai ke motor induksi satu fasa. Kemudian diamati perubahan putaran pada motor induksi satu fasa karena output PLTS yang berubah-ubah.

## **1.3 Tujuan Penulisan**

Adapun tujuan dari penulisan adalah mengetahui dampak apa yang akan terjadi pada motor induksi satu fasa jika output dari PLTS berubah pada waktu yang berbeda-beda. Selain itu juga mengetahui cara kerja dari PLTS dan bagaimana menggunakan PLTS sebagai pengganti sumber jala-jala jika tidak ada sumber dari PLN atau generator DC.

## **1.4 Batasan Masalah**

Mengingat begitu banyak yang dapat dibahas dari PLTS maupun motor listrik satu fasa maka ruang lingkup dibatasi, maka penulis membatasi ruang lingkus adapun yang menjadi batasan masalah adalah :

1. Pada analisis ini yang ingin diketahui hanya perubahan putaran pada motor listrik satu fasa.
2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

## **1.5 Manfaat Penulisan**

Adapun yang menjadi manfaat penulisan tugas akhir ini :

1. Memberikan sedikit pengetahuan tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang dapat digunakan apabila tidak ada sumber jala-jala.
2. Memberikan sedikit pengetahuan tentang cara mengatur putaran motor induksi satu fasa.
3. Untuk melengkapi syarat menyelesaikan program Strata Satu (S1) pada program studi Teknik Elektro Universitas HKBP Nommensen Medan.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan dibuat untuk mempermudah memahami dan sistematika yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

### **1. BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menguraikan latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, manfaat penulisan dan sistematika penulisan.

### **2. BAB II LANDASAN TEORI**

Bab ini membahas tentang dasar teori dari perangkat yang digunakan.

### **3. BAB III METODE PENELITIAN**

Bab ini berisi tentang tempat dan waktu penelitian, metode pengambilan data, bahan dan alat yang digunakan, skema penelitian.

### **4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini akan berisikan implementasi dari hasil penelitian.

### **5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini akan berisi kesimpulan dari seluruh penelitian dan saran-saran yang dapat mengembangkan lagi penelitian ini.

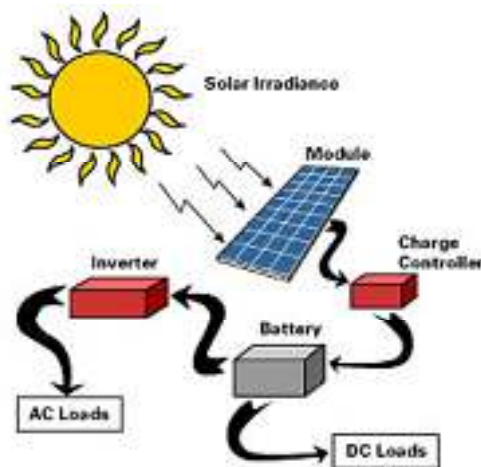
## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah peralatan pembangkit listrik yang mengubah listrik yang mengubah daya matahari menjadi listrik. PLTS sering juga disebut *Solar Cell*, atau *Solar Photovoltaic*, atau Solar Energi. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik. Meskipun mendung, selama ada cahaya maka PLTS dapat menghasilkan tegangan listrik.

PLTS pada dasarnya adalah percatuan daya (alat yang menyediakan daya), dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik yang kecil sampai dengan yang besar, baik secara mandiri, maupun dengan Hybrid (dikombinasi dengan sumber energi lain)



**Gambar 2.1** Sistem PLTS

Pada siang hari, sinar matahari yang jatuh pada panel surya yang dijemur lalu diubah secara langsung menjadi energi listrik dan disalurkan melalui alat pengatur muatan baterai (BCR, PCB, SCC) ke baterai. Pada malam hari, listrik tersimpan di dalam baterai dialirkan melalui PCB/BCR ke alat rumah tangga yang memerlukan listrik seperti lampu, kipas angin atau televisi. Untuk PLTS dengan panel surya berkapasitas 50 Wp (Watt-peak = watt puncak) dengan kondisi cuaca seperti di Indonesia, energi surya yang diubah menjadi listrik perharinya rata-rata sama dengan energi yang diperoleh apabila panel surya bekerja pada kapasitas

puncak selama empat jam. Apabila beban listrik di rumah pada malam hari besarnya hampir lima jam, dipandang perlu melakukan “pengaturan”. Apabila diinginkan penggunaan televisi lebih lama, penggunaan listrik untuk lampu harus dikurangi. Agar panel surya dapat berfungsi seperti yang diharapkan diperlukan paling tidak baterai, SCC, inverter, dan kabel.

Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari berbagai lokasi di Indonesia menunjukkan sumber daya energi surya di Indonesia dapat dikelompokkan berdasarkan wilayah yaitu kawasan barat dan timur Indonesia. Sumber daya energi surya Indonesia berdasarkan wilayah adalah sebagai berikut (IEO 2010):

1. Kawasan Barat Indonesia (KBI) = 4.5 kWh/m<sup>2</sup>/hari, variasi bulanan sekitar 10%
2. Kawasan Timur Indonesia (KTI) = 5.1 kWh/m<sup>2</sup>/hari, variasi bulanan sekitar 9%
3. Rata-rata Indonesia = 4.8 kWh/m<sup>2</sup>/hari, variasi bulanan sekitar 9%

Potensi energi yang dikandung sinar matahari sebenarnya sangat tinggi. Namun, energi sinar matahari yang “dikonsumsi” oleh dunia hanyalah sekitar 1% dari seluruh energi yang ada. Jika sinar matahari tersebut dapat dimanfaatkan sebanyak 25%, maka kebutuhan energi dunia yang umumnya didapat dengan memanfaatkan minyak bumi dan batu bara dapat lebih ditekan lagi. Energi matahari muncul dengan berbagai bentuk antara lain sebagai angin dan gelombang, dan juga energi surya secara langsung. Rumah modern dapat memanaskan air dengan surya-kotak dengan tutup depan dari kaca dan pipa bercat hitam di dalamnya. Warna hitam menyerap sinar matahari sehingga air yang mengalir melalui pipa dipanaskan.

Energi surya adalah energi yang dihasilkan dari panas surya (matahari) dengan mengubah energi panas surya menjadi energi listrik melalui peralatan tertentu. Teknik pemanfaatan energi surya muncul pada tahun 1819, ditemukan oleh A.C. Becquerel. Dalam penggunaan kristal silicon 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 secara memanfaatkan energi surya baru muncul lagi pada tahun 1958. Sel silicon yang dipergunakan untuk mengubah energi surya menjadi sumber daya mulai diperhitungkan sebagai metode baru, karena dapat digunakan sebagai sumber daya bagi satelit luar angkasa.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sering juga disebut Solar Cell, atau solar *Photovoltaic*, atau solar energi. PLTS pada dasarnya adalah pencatu daya (alat yang menyediakan daya), dan dapat dirancang untuk kebutuhan listrik yang kecil sampai dengan besar, baik secara mandiri, maupun Hybrid (dikombinasikan dengan sumber energi lain, seperti PLTS-genset, PLTS microhydro, PLTS-Angin), baik dengan metoda Desentralisasi (satu rumah satu pembangkit) maupun dengan metoda Sentralisasi (listrik didistribusikan dengan jaringan kabel). PLTS merupakan sistem pembangkit yang tergolong mudah, murah, ramah lingkungan dan terbarukan. Pada sistem pembangkit ini, terjadi suatu proses penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh modul solar cell. Biasanya energi listrik ini disimpan pada baterai dalam bentuk energi elektrokimia. Pada proses penyimpanan energi tersebut, diperlukan suatu alat yang berfungsi mengatur proses tadi agar tidak terjadi pengisian berlebihan pada baterai (over charge) yang dapat menyebabkan kerusakan pada baterai.

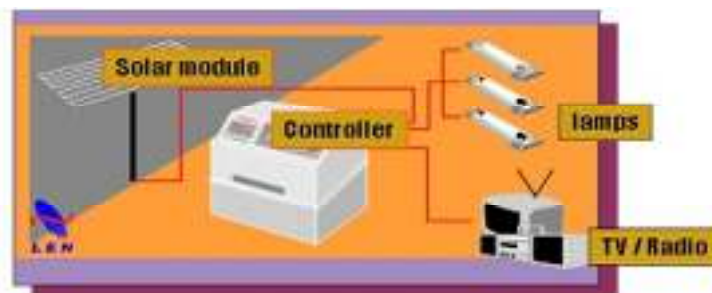
Sistem surya rumah tangga (Solar Home System), satu unit lengkap solar home system setidaknya terdiri atas beberapa komponen sebagai berikut:

- a. Modul Solar cell (monokristal, polykristal, amorf).
- b. Unit baterai (Lead-acid solar, Nickel-cadmium rechargeable).
- c. Kontrol pengisian baterai (charge controller) jika diperlukan.
- d. Beban listrik: lampu dan perangkat lainnya.

## **2.2 Sel Surya**

Sel surya (solar cell) yang termasuk dalam energi terbarukan telah banyak dikenal di Indonesia tetapi masih jarang digunakan walaupun sebenarnya dengan menggunakan solar cell panel akan mendapatkan listrik yang lebih ekonomis daripada pembangkit lainnya.

Listrik tenaga surya ini dihasilkan dengan proses yang disebut *photovoltaic*. Dalam proses ini sinar matahari yang menyentuh permukaan panel solar cell akan memecah elektron sehingga elektron ini bergerak. Gerakan elektron inilah yang menghasilkan energi listrik. Dengan menggunakan kabel listrik yang dihasilkan bisa disalurkan untuk digunakan berbagai peralatan listrik. Efisiensi penggunaan listrik dengan tenaga matahari ini akan jauh lebih tinggi jika dikombinasikan dengan penggunaan lampu LED karena lampu jenis ini menghasilkan cahaya yang sama terangnya dengan lampu neon tapi menggunakan daya listrik yang jauh lebih rendah. Keunggulan dari solar cell ini adalah mudah dipasang dan bisa ditempatkan di mana saja asalkan terjangkau sinar matahari dan hal ini sangat sesuai dengan negara kita yang hampir sepanjang tahun mendapat sinar matahari. Dengan sedikit kreatifitas, penempatan solar cell bisa digunakan untuk pengganti atap rumah, atap parking area dan lain-lain. Penggunaan solar cell sangat cocok untuk daerah yang belum terjangkau aliran listrik PLN.



**Gambar 2.2** Skema Proses Pemanfaatan Energi Surya

**Rumusa Panel Surya:**

$$A_a = E / (I_{av} \times \eta_m) \quad (2.1)$$

$$n = A_a / A_{cm} \quad (2.2)$$

$$P = n \times P_m \quad (2.3)$$

Dimana :

P = Daya yang dibangkitkan oleh PLTS (W)

n = Jumlah modul

P<sub>m</sub> = Daya maks sebuah modul (W)

E = Energi (Wh)

I<sub>av</sub> = Intensitas cahaya rata-rata (W/m<sup>2</sup>)

$\eta_m$  = Efisiensi modul (%)

$A_a$  = Luas efektif sebuah modul ( $m^2$ )

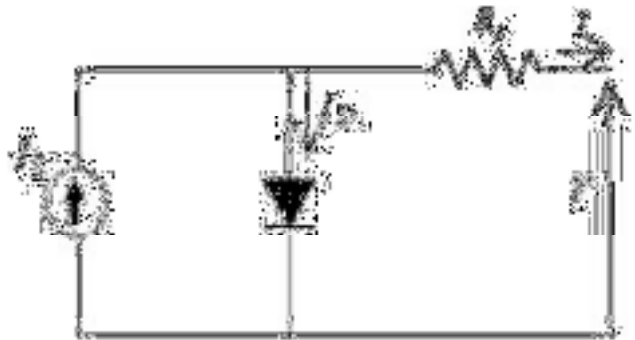
Sel surya terbuat dari potongan silicon yang sangat kecil dengan dilapisi bahan kimia khusus untuk membentuk dasar dari sel surya. Sel surya umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan negatif. Tiap sel surya biasanya menghasilkan tegangan 0,5 volt. Sel surya merupakan elemen aktif (semikonduktor) yang memanfaatkan efek *photovoltaic* untuk merubah energi surya menjadi energi listrik.

Pada sel surya terdapat sambungan (junction) antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor yang masing-masing diketahui sebagai semikonduktor jenis "P" (positif) dan semikonduktor jenis "N" (negatif). Semikonduktor jenis-N dibuat dari kristal silicon dan terdapat juga sejumlah material lain (umumnya posfor) dalam batasan bahwa material tersebut dapat memberikan suatu kelebihan elektron bebas. Elektron adalah partikel sub atom yang bermuatan negatif, sehingga silicon paduan dalam hal disebut sebagai semikonduktor jenis-N (negatif). Semikonduktor jenis-P juga terbuat dari kristal silicon yang di dalamnya terdapat sejumlah kecil material lain (umumnya boron) yang mana menyebabkan material tersebut kekurangan satu elektron bebas. Kekurangan atau hilangnya elektron ini disebut lubang (hole). Karena tidak ada atau kurangnya elektron yang bermuatan listrik negatif maka silicon paduan dalam hal ini semikonduktor jenis-P (positif).

### **2.2.1 Rangkaian Ekuivalen Sel Surya**

Rangkaian ekuivalen sel surya terdiri dari sumber arus ( $I_L$ ), arus dioda ( $I_D$ ) dan hambatan seri ( $R_S$ ). Rangkaian ini digunakan untuk membuat persamaan matematis sel surya, sehingga dapat digunakan untuk pemodelan sel surya atau untuk membuat simulasinya.





**Gambar 2.3** Rangkaian Ekuivalen Sel Surya

Dari gambar 2.3 Photocurrent ( $I_L$ ) adalah arus yang dihasilkan langsung akibat penyinaran sinar matahari pada sel surya. Arus  $I_L$  dipengaruhi oleh matahari dan tergantung pada suhu permukaan sel surya. Hambatan  $R_S$  menunjukkan hambatan seri dari sel surya. Besarnya arus output sel surya ( $I$ ) adalah pengurangan dari  $I_L$  dengan arus dioda ( $I_D$ ) yang dirumuskan sebagai berikut :

$$I = I_L - I_D \quad (2.4)$$

Dari persamaan diatas dapat diketahui bahwa:

$$I = I_L - I_0 \left[ \exp \left( q \frac{(V + IR_S)}{N_s A k T} \right) - 1 \right] \quad (2.5)$$

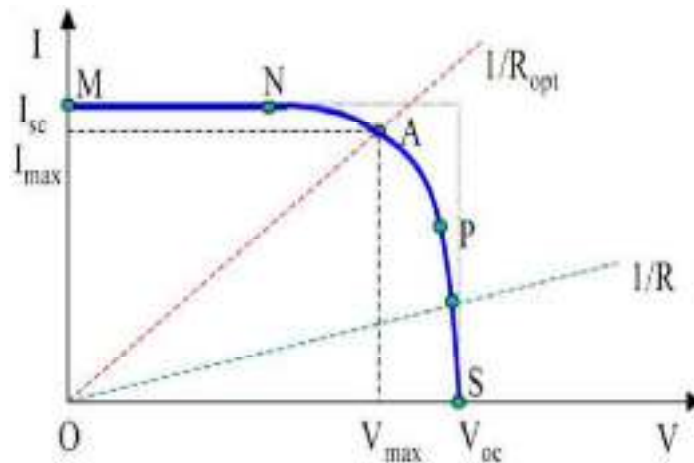
Dimana :

- $I$  = Output Current (A)
- $I_L$  = Photocurrent (A)
- $I_0$  = Diode saturation current (A)
- $q$  = Electron charge ( $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ )
- $V$  = Output voltage (V)
- $R_S$  = Series resistance
- $N_S$  = Number of cells in series
- $A$  = Diode factor
- $K$  = Boltzman constant ( $1.3805 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ )
- $T$  = Cell temperature (K)

### 2.2.2 Karakteristik Sel Surya

Sel surya adalah sebuah alat non-linear, sehingga untuk memahami karakteristiknya digunakan suatu grafik. Sifat elektrik dari sel surya dalam

menghasilkan energi listrik dapat diamati dari karakteristik sel tersebut, yaitu berdasarkan arus dan tegangan yang dihasilkan sel surya pada kondisi cahaya dan beban yang berbeda-beda. Karakteristik panel surya dari kurva arus tegangan dan kurva daya-tegangan.



**Gambar 2.4** Kurva Arus (I) – Tegangan (V) pada Modul Surya

Gambar 2.4 Menunjukkan ketika sel dihubungkan dengan beban (R). Beban memberi hambatan sebagai garis linear dengan garis  $I/V = I/R$ . Hal tersebut menunjukkan daya yang didapat bergantung pada nilai resistansi. Jika R kecil maka sel beroperasi pada daerah kurva MN, dimana sel beroperasi sebagai sumber arus yang konstan atau arus short circuit ( $I_{sc}$ ). Pada sisi lain jika R besar, sel beroperasi pada daerah PS, dimana sel beroperasi sebagai sumber tegangan yang konstan atau tegangan open circuit ( $V_{oc}$ ). Jika dihubungkan dengan hambatan optimal  $R_{opt}$  berarti sel surya menghasilkan daya maksimal dengan tegangan maksimum ( $V_{max}$ ) dan arus maksimum ( $I_{max}$ ). Pada kurva I-V terdapat hal-hal yang sangat penting yaitu:

- a. *Maximum Power Point ( $V_{max}$  dan  $I_{mp}$ )*

*Maximum Power Point ( $V_{max}$  dan  $I_{mp}$ )* pada kurva I-V adalah titik operasi yang menunjukkan daya maksimum yang dihasilkan oleh panel surya.

- b. *Open Circuit Voltage ( $V_{oc}$ )*

*Open Circuit Voltage ( $V_{oc}$ )* adalah tegangan maksimum yang tersedia dari sel surya, dan ini terjadi pada arus nol. Tegangan ini sesuai dengan jumlah bias maju pada sel surya karena bias dari persimpangan sel surya dengan cahaya yang

dihasilkan. Tegangan ini merupakan produksi tertinggi panel surya saat terkena sinar matahari penuh dan sedang tidak digunakan atau tidak dibebani.

*Open Circuit Voltage ( $V_{oc}$ )* adalah kapasitas tegangan maksimum yang dapat dicapai pada saat tidak adanya arus (*current*).

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{I_{sc}}{I_s} + 1 \right) \quad (2.6)$$

Dimana :

k = konstan boltzmann ( $1.30 \times 10^{-16}$  erg)

q = konstan muatan elektron ( $1.602 \times 10^{-19}$  C)

T = suhu dalam Kelvin

$I_s$  = Arus saturasi

c. *Short Circuit Current ( $I_{sc}$ )*

*Short Circuit Current ( $I_{sc}$ )* adalah maksimum arus keluaran dari panel sel surya yang dapat dikeluarkan di bawah kondisi dengan tidak ada resistansi atau hubung singkat. Untuk mengetahui arus hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.7)

$$I_{sc} = qG(L_n = L_p) \quad (2.7)$$

Dimana :

G = tingkat generasi

$L_n$  = panjang difusi elektron

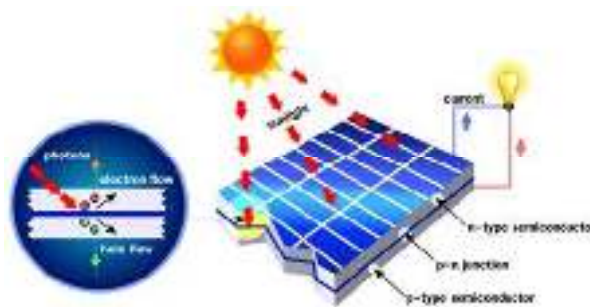
$L_p$  = panjang difusi hole

Sel surya menerima penyinaran matahari dalam satu hari sangat bervariasi. Hal ini dikarenakan sinar matahari memiliki intensitas yang besar ketika siang hari dibanding dengan pagi hari. Untuk mengetahui kapasitas daya yang dihasilkan, dilakukanlah pengukuran terhadap arus (I) dan tegangan (V) pada gugusan sel surya yang disebut modul. Untuk mengukur arus maksimum, maka kedua terminal dari modul dibuat rangkaian hubung singkat sehingga tegangannya menjadi nol dan arusnya maksimum. Dengan menggunakan ampere meter akan didapatkan arus maksimum yang dinamakan *short circuit current* atau  $I_{sc}$ . Pengukuran terhadap tegangan (V) dilakukan pada terminal positif dan negatif

dari modul sel surya dengan tidak menghubungkan sel surya dengan komponen lainnya. Pengukuran ini dinamakan *open circuit voltage* atau  $V_{oc}$ .

### 2.2.3 Cara Kerja Sel Surya

Sel surya atau sel *photovoltaic* merupakan piranti semikonduktor yang dapat mengubah cahaya matahari secara langsung menjadi tenaga listrik. Prinsip atau efek yang menjadi dasar dari proses konversi energi secara langsung ini dikenal sebagai efek *photovoltaic*. Oleh sebab itu, sel surya juga disebut sebagai sel *photovoltaic*.



**Gambar 2.5** Cara Kerja Sel Surya dengan prinsip p-n junction

Sel *photovoltaic* dibuat dari bahan silikon ditambah sedikit boron. Cahaya dapat dipandang sebagai aliran partikel kecil energi yang disebut *photon*. Apabila *photon* yang berasal dari cahaya dengan panjang gelombang tertentu yang sesuai mengenai permukaan sel *photovoltaic* (yang pada umumnya dibuat dari bahan dasar silikon) *photon* tersebut memindahkan beberapa energinya kepada beberapa elektron di dalam bahan (material) sehingga energi elektron tersebut meningkat. Secara normal elektron tersebut membantu bahan itu menyatu dengan membentuk ikatan valensi dengan menyambung atom-atom dan tidak dapat bergerak. Akan tetapi, di dalam status terksistasi (*excited state*), elektron itu menjadi bebas untuk menjalankan (melakukan konduksi) arus listrik dengan bergerak di dalam bahan. Oleh karena itu, pada permukaan bahwa ada muatan listrik statik positif, sedang pada permukaan atas yang menghadap ke matahari, bermuatan listrik statik negatif, apabila sel surya tersebut terkena cahaya matahari. Dengan satu sisi menjadi negatif (n), dan sisi lain menjadi positif (p), dan apabila tiap sisi dihubungkan melalui sambungan di luar terbentuklah suatu rangkaian listrik

(*electrical circuit*) dan sel tersebut menghasilkan (membangkitkan/generate) listrik. Ciri sel *photovoltaic* demikian ini disebut juga sambungan p-n.

Sel-sel surya itu selanjutnya disambungkan seperti halnya batu baterai pada lampu senter, yaitu positif ke negatif, dan dibangun untuk menghasilkan potensial atau daya listrik yang diinginkan. Dalam praktek sel-sel surya itu dipasang pada kerangka aluminium dengan penutup dari bahan kaca transparan, menjadi dan diberi nama sebagai panel surya (modal surya).

#### **2.2.4 Jenis-jenis sel surya :**

##### **a. Monokristal**

Panel surya yang terbuat dari sel surya monokristal merupakan panel yang paling efisien yang saat ini diproduksi dengan teknologi mutakhir. Panel jenis ini menghasilkan daya listrik per satuan luas yang paling tinggi. Dengan memanfaatkan teknologi yang sangat akurat, pada umumnya dengan proses pertumbuhan kristal yang disebut sebagai: Czochralski Process, dihasilkan tuangan kristal kualitas tinggi. Selanjutnya oleh operator terlatih, dapat dilakukan pengirisan pada tuangan silikon monokristal tersebut untuk menghasilkan pelat tipis (tebal 0,25 mm) yang dikenal sebagai wafers.



**Gambar 2.6** Panel Surya Monokristal

##### **b. Polykristal**

Panel surya yang terbuat dari sel surya polykristal memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Sel surya polykristal memiliki susunan

kristal yang orientasinya acak karena difabrikasi dengan proses pengecoran. Proses fabrikasinya memerlukan tenaga dan intensitas energi yang lebih kecil, yang tercermin pada harganya. Penampilan panel polykristal hampir serupa dengan monokristal, kadang-kadang lebih menarik karena permukaannya yang lebih berkilau. Namun demikian, efisiensi dan harganya lebih rendah dari panel monokristal.



**Gambar 2.7** Panel Surya Polykristal

#### **c. Semikristal**

Jenis ini difabrikasi dengan proses pengecoran (*casting*). Sel surya semikristal memiliki struktur kristal dengan permukaan batas kristal yang sejajar dengan arah aliran listrik yang ditimbulkan oleh pasangan muatan positif dan negatif. Panel surya yang terbuat dari sel surya semikristal menghasilkan efisiensi konversi energi sekitar 11%. Dengan demikian berbeda sedikit (lebih kecil) dibandingkan dengan panel surya monokristal.

#### **d. Amorf**

Disebut pula sebagai panel surya lapisan tipis (*thin film*). Panel surya jenis ini dapat difabrikasi secara otomatis dan dapat dipasang pada permukaan yang fleksibel (tidak datar), misal pada permukaan plastik atau bahan fleksibel. Bahan baku sel surya amorf tidak mahal. Tetapi luas permukaan yang diperlukan per watt panel surya amorf memiliki harga yang rendah, dan sangat menarik untuk dipakai pada bangunan baru. Harga panel surya yang lebih rendah harus disertai dengan pertimbangan harga bahan atau atap bangunan. Panel amorf memiliki efisiensi konversi hingga 5%.



**Gambar 2.8** Panel Surya Amorf

Susunan sebuah solar cell, sama dengan sebuah dioda, terdiri dari dua lapisan yang dinamakan PN junction. PN junction itu diperoleh dengan jalan menodai sebatang bahan semikonduktor silicon murni (valensinya 4) dengan impurity yang bervalensi 3 pada bagian sebelah kiri, dan yang disebelah kanan dinodai dengan impurity bervalensi 5. Sehingga pada bagian kiri terbentuk silicon yang tidak murni lagi dan dinamakan silicon jenis P, sedangkan yang sebelah kanan dinamakan silicon jenis N. Di dalam silicon murni terdapat dua macam pembawa muatan yang seimbang. Pembawa muatan listrik yang positif dinamakan hole, sedangkan yang negatif dinamakan elektron. Setelah dilakukan proses penodaan itu, di dalam silicon jenis P terbentuk hole (pembawa muatan listrik positif) dalam jumlah yang sangat besar dibandingkan dengan elektronnya. Oleh karena itu di dalam silicon jenis P hole merupakan pembawa muatan mayoritas, sedangkan elektron merupakan pembawa minoritas. Sebaliknya, di dalam silicon jenis N terbentuk elektron dalam jumlah yang sangat besar sehingga disebut pembawa muatan mayoritas, dan hole disebut pembawa muatan minoritas.

Dalam batang silicon itu terjadi permuatan antara bagian P dan bagian N, oleh karena itu dinamakan PN junction. Bila sekarang, bagian P dihubungkan dengan kutub positif dari sebuah baterai, sedangkan kutub negatifnya dihubungkan dengan bagian N, maka terjadi hubungan dinamakan “forward bias”. Dalam keadaan forward bias, di dalam rangkaian itu timbul arus listrik yang disebabkan oleh kedua macam pembawa muatan. Jadi arus listrik yang mengalir di dalam PN junction disebabkan oleh gerakan hole dan gerakan elektron. Arus listrik itu mengalir searah dengan gerakan hole, tapi berlawanan arah dengan

gerakan elektron. Sekedar untuk lebih menjelaskan, elektron yang bergerak di dalam bahan konduktor yang menimbulkan energi listrik. Dan energi listrik inilah yang disebut sebagai arus listrik yang mengalir berlawanan arah dengan gerakan elektron. Tapi bila P dihubungkan dengan kutub negatif dari baterai dan bagian N dihubungkan dengan kutub positifnya, maka sekarang terbentuk hubungan yang dinamakan “reverse bias”.

Dengan keadaan seperti ini, maka hole (pembawa muatan positif) dapat tersambungkan langsung ke kutub positif, sedangkan elektron juga langsung ke kutub positif. Jadi, jelas di dalam PN junction tidak ada gerakan pembawa muatan mayoritas baik yang hole maupun yang elektron. Sedangkan pembawa muatan minoritas (elektron) di dalam bagian P bergerak berusaha untuk mencapai kutub positif baterai. Demikian pula pembawa muatan minoritas (hole) di dalam bagian N bergerak berusaha mencapai kutub negatif. Karena itu, dalam keadaan reverse bias, di dalam PN junction ada juga arus yang timbul meskipun dalam jumlah yang sangat kecil (mikro ampere). Arus ini sering disebut dengan *reverse saturation current* atau *leakge current* (arus bocor).

Ada yang menarik dalam keadaan reverse bias itu. Bila suhu PN junction tersebut dinaikkan ternyata dapat memperbesar arus bocor yang timbul itu. Berarti bila diberi energi (panas), pembawa muatan minoritas di dalam PN junction bertambah banyak. Karena cahaya itu merupakan salah satu bentuk energi, maka bila ada cahaya yang menimpa PN junction dapat juga menghasilkan energi yang cukup untuk menghasilkan pembawa muatan. Gejala seperti ini dinamakan fotokonduktif. Berdasarkan gejala fotokonduktif itu maka dibuat komponen elektronik fotodiode dari PN junction itu. Dalam keadaan reverse bias, dengan memperbesar intensitas cahaya yang menimpa *photodiode* dapat meningkatkan arus bocor. Arus bocor juga dapat diperbesar dengan memperbesar tegangan baterai (tegangan reverse), tapi penambahan arus bocornya itu tidak signifikan. Bila baterai dalam reverse bias itu dilepas dan diganti dengan beban tahanan, maka pemberian cahaya itu dapat menimbulkan pembawa muatan baik hole maupun elektron. Jika iluminasi cahaya itu ditingkatkan, ternyata arus yang timbul semakin besar. Gejala seperti ini dinamakan *photovoltaic*. Cahaya dapat



memberikan energi yang cukup besar untuk memperbesar jumlah hole pada bagian P dan jumlah elektron pada bagian N. Berdasarkan gejala *photovoltaic* ini maka diciptakan komponen elektronik *photovoltaic cell*. Karena biasanya matahari sebagai sumber cahaya, maka *photovoltaic cell* sering juga disebut solar cell (sel surya).

### 2.3 Solar Charge Controller (SCC)

*Solar Charge Controller (SCC)* adalah sebuah rangkaian control yang mempunyai tugas mengatur regulasi pengisian dan pengosongan baterai. Pengaturan ini dilakukan dengan cara memutuskan hubungan sumber (modul *photovoltaic*) dengan baterai ketika tegangan pada baerai telah mencapai titik *Low Voltage Disconnected (LVD)*. Fungsi utama dari *Solar Charge Controller (SCC)* adalah proses pengisian dan pengosongan baterai terhindar dari kerusakan. Pengaturan ini dilakukan dengan cara memutuskan hubungan sumber (modul *photovoltaic*). Dengan baterai ketika tegangan pada baterai telah mencapai titik *High Voltage Disconnected (HVD)*. Jika pada titik ini baterai telah terhubung dengan sumber, maka akan dapat mengakibatkan penurunan tegangan dan merusak sel-sel dalam baterai.

Beberapa fungsi detail dari *Solar Solar Charge Controller (SCC)* adalah sebagai berikut :

- a. Mengatur arus untuk pengisian ke baterai, menghindari *overcharging* dan *overvoltage*.
- b. Mengatur arus yang dibebaskan/diambil dari baterai agar baterai tidak *'full discharge'*, dan *overloading*.
- c. Monitoring temperature baterai.

Untuk membeli *Solar Solar Charge Controller (SCC)* yang harus diperhatikan adalah :

- a. Voltage 12 Volt DC / 24 Volt DC
- b. Kemampuan (dalam arus searah) dari controller. Misalnya 5 Ampere, 10 Ampere, dsb.
- c. Full charger dan low voltage cut.

Seperti yang telah disebutkan di atas *Solar Charge Controller (SCC)* 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 (SCC)* akan mengisi baterai sampai level tegangan tertentu, kemudian apabila level tegangan drop, maka baterai akan diisi kembali.

*Solar Charge Controller (SCC)* biasanya terdiri dari : satu input yang terhubung dengan output panel surya / solar cell, satu output yang terhubung dengan baterai dan satu 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.

*Charger controller* bahkan ada yang mempunyai lebih dari satu sumber daya, yaitu bukan hanya berasal dari matahari, tapi juga bisa berasal dari tenaga angin ataupun mikrohidro. Di pasaran sudah banyak ditemui charger controller 'tendem' yaitu mempunyai dua input yang berasal dari matahari dan angin. Untuk 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 perbulannya bisa jauh lebih besar dari energi matahari.

Prinsip kerja alat secara keseluruhan pada sistem PLTS. Pada dasarnya, baterai dan modul *photovoltaic* bekerja sama dalam memberikan energi listrik kepada beban. Energi listrik yang dapat dihasilkan langsung dari modul *photovoltaic* pada siang hari, dan dari baterai pada malam hari. Bisa juga dari keduanya pada saat cuaca mendung. Semua itu tidak terlepas dari fungsi *Solar Charge Controller (SCC)* sebagai alat pengatur.

Pada siang hari, matahari bersinar dengan mengeluarkan energi radiasi melalui gelombang cahaya. Dengan menggunakan modul *photovoltaic* energi ini dikonversikan menjadi energi listrik. Apabila tegangan ada modul lebih besar dari tegangan baterai, maka terjadi arus pengisian ke baterai. Tegangan baterai akan terus meningkat sejalan dengan makin lamanya waktu pengisian. Dan apabila

tegangan baterai telah mencapai batas ambang tegangan kerja atas (titik mati tegangan atas) yang di tetapkan pada *Solar Charge Controller (SCC)* yaitu 12 volt, maka *Solar Charge Controller (SCC)* akan memutuskan hubungan antara modul dengan baterai yang ditandai dengan adanya arus hubung singkat pada modul *phovoltaic*.

Pada malam hari, tidak ada energi yang dihasilkan oleh modul *photovoltaic* dan pada saat itu secara otomatis yang mensuplai energi ke beban adalah baterai. Jika penggunaan energi baterai terlalu banyak, maka tegangan baterai akan turun sejalan dengan berkurangnya energi baterai. Jika tegangan baterai akan turun melewati batas ambang bawah (titik mati tegangan bawah) yang ditetapkan oleh *Solar Charge Controller (SCC)* yaitu 11,5 volt, maka secara otomatis beban akan mati yang ditandai dengan terputusnya hubungan antara baterai dengan beban (hubungan terbuka).

*Solar Charge Controller (SCC)* yang berfungsi sebagai proteksi charge, juga sebagai proteksi pengosongan baterai berebih (*over discard*), proteksi beban lebih, hubung singkat, tegangan kejut halilintar, arus balik dari baterai ke sumber (pembangkit), dan proteksi polaritas terbalik baterai dan sumber (pembangkit).

### **2.3.1 On-Off Controller**

*Solar Charge Controller (SCC)* yang dipergunakan pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah tipe diskrit (On-Off). Keluaran dari control on-off adalah ada (On) dan tidak ada (Off). Pada prakteknya control on-off terdapat hysteresis karena memberikan kesempatan pada akuator (saklar) untuk bekerja. Ketika tidak terjadi error set point sama dengan proses pengisian akan kembali terjadi. Pada control on-off dengan hysteresis outputnya tidak pernah sesuai set point, sehingga akan terjadi error yang terus menerus dan ini akan menyebabkan terjadinya keadaan on dan off pada controller.

Besarnya hysteresis yang terjadi harus disesuaikan dengan jenis akuator yang dipakai. Jika akuator dapat merespon dengan cepat setiap perubahan dari keluaran controller maka hysteresis harus dibuat lebih besar karena jika tidak akan cepat merusak akuator dan membuat sistem control menjadi kacau.

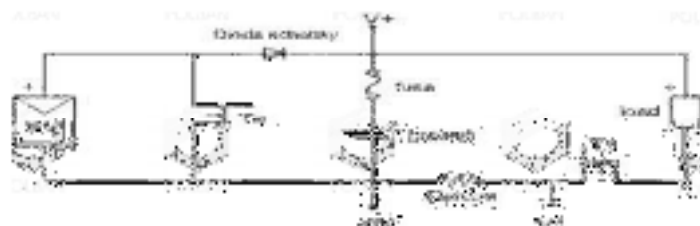
### 2.3.2 Regulator Seri

Regulator tipe seri mempunyai prinsip bahwa saklar pemutus elektronik mempunyai karakteristik arus harus lebih besar dari arus maksimum pengisian dan tegangan maksimum lebih kecil dari tegangan terbuka modul *photovoltaic*. Ketika HVD telah tercapai, modul akan berada dalam keadaan open circuit sehingga tidak ada lagi arus pengisian ke baterai. Kelemahan utama regulator tipe seri adalah besarnya tegangan jatuh pada saklar elektronik dan *diode schottky* pada saat proses pengisian baterai sehingga banyak energi yang hilang. Keuntungannya terdapat pada kecilnya gangguan ketika proses pemutusan arus dan memungkinkan untuk pengisian dengan arus tidak konstan.

Lebih sederhana tetapi lebih merugikan sebab harus menggunakan suatu pendingin untuk menghilangkan panas pada rangkaian. Jatuh tegangan transistor mengakibatkan perbedaan antara sumber tegangan dan tegangan keluaran. Semua arus yang mengalir ke beban diatur oleh transistor, sebagai konsekuensi untuk menggerakkan transistor dibutuhkan daya yang tinggi. Sebab tidak ada proses switch, charge menyalurkan tegangan DC murni dan tidak memerlukan suatu saringan keluaran rangkaian ini tidak menimbulkan suara elektrik, sehingga rangkaian ini cocok digunakan radio.

### 2.3.3 Regulator Shunt

Regulator shunt adalah regulator yang umum digunakan pada sistem *photovoltaic*. Prinsip regulator shunt adalah mempunyai saklar pemutus elektronik dengan karakteristik arus dan tegangan maksimumnya harus lebih besar dari arus hubung singkat dan tegangan terbuka modul *photovoltaic*. Ketika titik tegangan arus baterai (HVD) telah tercapai, modul akan berada dalam keadaan short circuit sehingga tidak ada lagi arus charging ke baterai.



**Gambar 2.9** Rangkaian dasar SCC tipe shunt

Keuntungan dari regulator adalah tidak ada tegangan jatuh pada komponen saklar elektronik sehingga rugi-rugi energinya pada waktu proses pengisian hampir tidak ada, sehingga lebih efisien. Selain itu, dibandingkan dengan tipe seri, regulator shunt memerlukan sedikit komponen sehingga harganya lebih murah. Keuntungan lainnya yaitu ketika siang hari baterai telah penuh diisi dan terhubung ke beban maka energi beban diambil dari sumber (modul *photovoltaic*), bukan dari baterai seperti tipe seri. Sehingga energi dari modul tidak terbuang percuma dan baterai tetap penuh untuk digunakan malam hari. Kelemahan dari generator shunt adalah memerlukan sistem pendingin yang bagus pada FET karena akan timbul panas lebih akibat arus short circuit yang besar dari modul *photovoltaic* ketika HVD tercapai.

#### **2.3.4 Fungsi SCC Dalam Sistem *Photovoltaic***

*Solar Charge Controller (SCC)* atau alat pengukur kekuatan baterai adalah suatu alat yang digunakan untuk menjaga agar baterai tidak diisi lebih dari yang seharusnya, melindungi modul surya (*photovoltaic*) dan melakukan pengelolaan sistem pengkabelan yang sudah merupakan rangkaian terpadu (Ic-intergrated circuit) dioda pelindung, dioda penyearah, inverter, indikator dan sebagainya, yang pada dasarnya merupakan piranti keras (hardware) untuk pengelolaan sistem. Pada sistem *phovoltaic* yang besar *Solar Charge Controller (SCC)* merupakan panel pengatur (*control panel*) sedang untuk sistem *photovoltaic* yang kecil *Solar Charge Controller (SCC)* berbentuk kotak.

Beberapa fungsi SCC dalam sistem *photovoltaic*:

- a. Mengatur transfer energi dari modal surya (*photovoltaic*) ke baterai dan ke beban secara efisien dan semaksimal mungkin.
- b. Melindungi baterai dari pengisian berlebih (*over charge*) dan pengosongan (*discharge*). *Overcharge* adalah pengisian baterai hingga melebihi tegangan batas yang dapat menimbulkan *gasing*. Hal ini dapat mengakibatkan penguapan air baterai dan korosi pada grid baterai. *Over discharging* baterai sampai melebihi tegangan batas bawah sehingga terjadi pembebanan berlebih yang dapat mengakibatkan sulfasi baterai.

- c. Membatasi daerah tegangan kerja baterai.
- d. Menjaga atau memperpanjang umur baterai.
- e. Mencegah beban berlebih dan hubung singkat (short circuit/konsluit).
- f. Melindungi sistem dari kekeliruan pemasangan rangkaian dengan polaritas terbalik.
- g. Memberikan informasi kepada pemakai tentang kondisi sistem (misal, status muatan baterai dengan indikator lampu).

## **2.4 Baterai**

Baterai merupakan sebuah peralatan yang dapat mengubah energi baterai. Baterai listrik adalah alat yang terdiri dari dua 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 rangkain eksternal, elektrolit dapat berpindah sebagai ion di dalamnya, sehingga terjadi reaksi kimia pada kedua kutubnya. Perpindahan ion dalam baterai akan mengalirkan arus listrik keluar dari baterai sehingga menghasilkan kerja. Meski sebutan secara teknis adalah alat dengan beberapa sel, sel tunggal juga umumnya disebut baterai.

Baterai untuk solar cell sendiri mempunyai dua tujuan penting dalam sistem *photovoltaic*; pertama adalah untuk memeberikan 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 melebihi beban.

### **2.4.1 Prinsip Kerja Baterai**

Baterai yang merupakan komponen sistem panel surya disebut pula dengan nama *accu* atau aki. Berikut prinsip kerja dari baterai:

- a. Baterai merupakan kumpulan dari sel-sel elektro-kimia, yaitu alat yang dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik dan sebaliknya, yang dihubungkan secara seri.
- b. Sel baterai terdiri atas sepasang elektroda (kutub sering disebut pelat) yang terendam dalam larutan elektrolit, yang selanjutnya menghasilkan listrik apabila mereka membentuk suatu rangkaian tertutup, yaitu apabila elektroda positif (anoda) dihubungkan dengan beban ke elektroda negatif (katoda).
- c. Arus yang terjadi sebagai akibat oleh reaksi bolak-balik (reversible) yang terjadi diantara elektroda dan larutan elektrolit. Sifat reversibilitas ini yang menjadikan baterai dapat berfungsi sebagai tangki penyimpanan energi listrik, yang memasukkan (diisikan, di charge) ke dalam baterai. Dalam sistem *photovoltaic*, modul surya menghasilkan listrik yang selanjutnya dialirkan ke baterai untuk disimpan. Pada modul surya, sel surya menghasilkan listrik dari energi photonic (photo berarti cahaya) yang berasal dari cahaya matahari. Dengan demikian sel surya bekerja berdasar atas prinsip photo-elektrik, sedangkan pada baterai, tiap sel baterai bekerja berdasar atas prinsip elektro-kimia.
- d. Muatan listrik yang mengalir ke dalam baterai melalui kawat penghubung diubah menjadi energi kimiawi, dan proses ini merupakan proses pengisian baterai (*charging*). Energi kimiawi ini dapat disimpan di dalam baterai sampai kapasitas penuh. Setelah ini akan terjadi proses fisik dan kimiawi yang mengganggu fungsi dan kondisi baterai (antara lain penge-gas-an, korosi). Jumlah energi yang selanjutnya dapat diambil kembali apabila baterai dipergunakan untuk mengalirkan listrik ke beban (baterai demikian mengalami proses pengosongan). Pada saat baterai diisi (aliran listrik masuk ke baterai, proses *charging*), energi listrik yang masuk ke baterai disimpan sebagai energi kimia di dalam sel baterai. Dengan demikian, pada saat baterai dipergunakan [aliran listrik mengalir ke baterai ke beban, proses pengosongan (*discharging*)], energi kimiawi yang tersimpan dalam sel baterai diubah

menjadi energi listrik kembali. Perlu diperhatikan, bahwa jumlah energi listrik yang dapat dikeluarkan dari baterai (pada proses pengosongan, pemasokan energi ke beban) tidak dapat melebihi jumlah energi listrik yang dimasukkan ke dalam baterai [pada saat proses pengisian, pemasukan energi listrik dari modul surya (*photovoltaic*)]. Dengan demikian, pada dasarnya proses konversi energi elektro-kimia ini dapat berlangsung secara bolak-balik (reversible), walaupun tidak abadi (prinsip termodinamika).

- e. Beberapa jenis sel baterai hanya dapat dipergunakan sekali, tanpa dapat diisi kembali. Baterai ini disebut baterai primer, seperti baterai padat yang dipergunakan untuk lampu senter, radio (misal batu baterai ABC). Beberapa jenis lainnya berulang kali, seperti baterai mobil, baterai sistem *photovoltaic*, baterai telpon genggam.
- f. Dua jenis baterai sekunder yang banyak dipergunakan adalah: (a). Baterai timah hitam-asam sulfat (lead-acid battery) dan (b). Baterai nikel-cadmium. Kedua jenis baterai itu menggunakan electrode maupun elektrolit yang berbeda.
- g. Baterai timbal-asam sulfat beroperasi berdasarkan reaksi kimia antara sebuah elektroda positif timah hitam dioksida ( $\text{PbO}_2$ ), sebuah elektroda negatif timah hitam (Pb) dan elektrolit larutan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) dengan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ). proses reaksi kimia baterai timah hitam-sulfat adalah sebagai berikut:  
 Pada kutub positif:  $\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + \text{SO}_4 \rightarrow \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$   
 Pada kutub negatif:  $\text{Pb} + \text{SO}_4^- \rightarrow \text{PbSO}_4 + 2\text{e}$   
 Dengan demikian dihasilkan:  $\text{Pb} + \text{PbO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$   
 Tegangan sel baterai = 2,0 volt.
- h. Pada saat baterai diisi,  $\text{PbO}_2$  terkumpul di anoda/kutub positif, Pb terkumpul di katoda/kutub negatif dan kadar asam sulfat  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dalam larutan elektrolit meningkat dan dengan demikian, massa jenis (specific gravity)-nya juga meningkat.

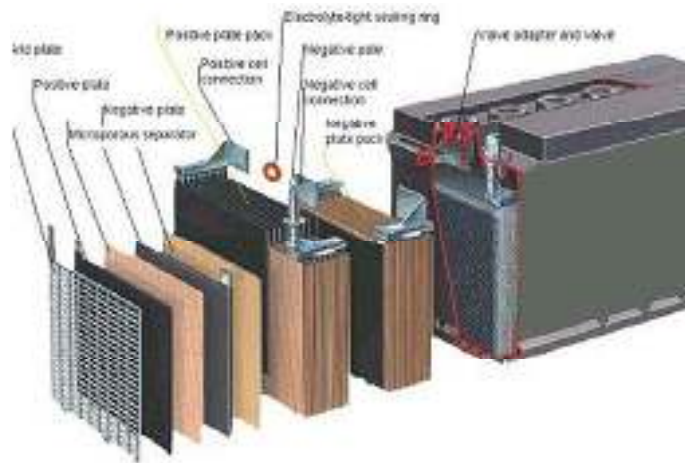


- i. Pada saat baterai digunakan, timah hitam sulfat ( $\text{PbSO}_4$ ) terkumpul pada katoda (kutub negatif) maupun anoda (kutub positif) dan jumlah air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) pada elektrolit bertambah, dan dengan demikian massa jenis (specific gravity)-nya berkurang.

#### 2.4.2 Kontruksi Baterai

Kontruksi baterai terdiri dari:

- a. Kotak (countainer): berfungsi menyimpan dan melindungi baterai.
- b. Sel-unit dasar yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik.
- c. Pelat elektroda : tempat terjadinya reaksi dan tempat menyimpan muatan listrik.
- d. Kutub (pol): penyalur muatan listrik dari baterai ke bagian luar.
- e. Elektrolit: campuran kimia asam dengan air yang membuat muatan listrik bergerak.
- f. Grid (kisi-kisi): tempat menempelnya komponen aktif dan berfungsi sebagai penyalur muatan.
- h. Konstruksi pelat (jumlah, ketebalan dan tipe): akan mempengaruhi kinerja baterai.



**Gambar 2.10** Skema kedudukan elemen baterai.

#### 2.4.3 State of Charge

*State of Charge (SOC)* didefinisikan sebagai rasio total kapasitas energi yang dapat digunakan dari sebuah baterai dengan kapasitas baterai seluruhnya. *State of Charge (SOC)* menggambarkan energi yang tersedia dan dituliskan dalam

presentase sesuai beberapa referensi, terkadang dianggap sebagai nilai kapasitas dari baterai. Cara mengukur *State of Charge (SOC)* dari baterai dapat dilakukan dengan 3 cara yaitu:

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

#### 2.4.4 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.

#### 2.5 Inverter

Inverter adalah sebuah alat yang mengubah listrik *Direct Current (DC)* dari baterai atau panel sel surya menjadi *Alternating Current (AC)*. Penggunaan interverte dari dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah 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.



**Gambar 2.11** Diagram Blok Inverter

Pada PLTS, inverter berfungsi sebagai pengkondisi tenaga listrik yang (power condition) dan sistem control yang merubah arus listrik searah *Direct Current (DC)* yang dihasilkan oleh solar modul menjadi listrik bolak-balik *Alternating Current (AC)* yang nantinya akan mengontrol kualitas daya listrik yang dikeluarkan untuk dikirim ke beban atau jaringan listrik.

Terdapat dua macam sistem inverter pada PLTS yaitu :

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

Berdasarkan karakteristik dari performa yang dibutuhkan, inverter untuk sistem PLTS berdiri sendiri (*stand-alone*) dan PLTS grid-connected memiliki karakteristik yang berbeda, yaitu:

1. Pada PLTS stand-alone, inverter harus mampu mensuplai tegangan *Alternating Current (AC)* yang konstan pada variasi produksi dari modul surya dan tuntutan beban (*load demand*) yang dipikul.
2. Pada PLTS grid-connected, inverter dapat menghasilkan kembali tegangan yang sama persis dengan tegangan jaringan pada waktu yang sama, untuk mengoptimalkan dan memaksimalkan keluaran energi yang dihasilkan oleh modul surya.



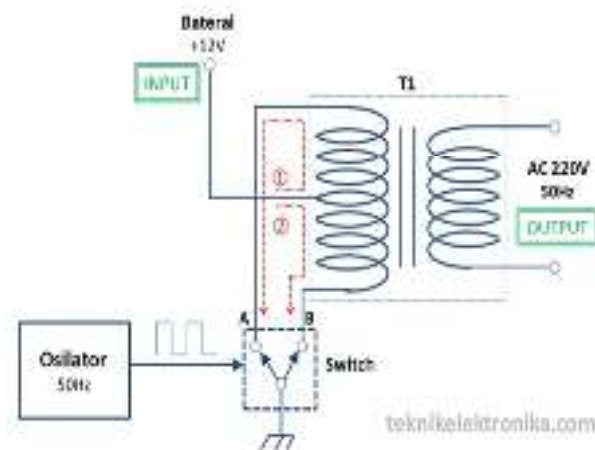
**Gambar 2.12** Inverter

Inverter digunakan ketika peralatan listrik memerlukan daya *Alternating Current (AC)*. Inverter memotong dan membalikkan arus *Direct Current (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 di pasar menciptakan apa yang diketahui sebagai “gelombang sinus yang termodifikasi”, karena output tegangannya bukanlah sinusoid yang murni. Ketika memikirkan efisiensi, gelombang sinus yang termodifikasi bekerja lebih baik dari inverter sinusoidal yang murni.

### 2.5.1 Prinsip Kerja Inverter

Suatu Power Inverter yang dapat mengubah arus listrik *Direct Current* (DC) ke arus listrik *Alternating Current* (AC) ini hanya terdiri dari rangkaian Osilator, rangkaian saklar (Switch) dan sebuah Transformator (trafo) CT.



**Gambar 2.13** Cara Kerja Inverter

Suatu daya yang berupa arus listrik *Direct Current* (DC) dengan tegangan rendah diberikan ke Center Tap (CT) sekunder transformator sedangkan dua ujung trafo lainnya (titik a dan titik B) dihubungkan melalui saklar (switch) dua arah ke ground rangkaian. Jika saklar terhubung pada titik A akan menyebabkan arus listrik jalur 1 mengalir dan terminal positif baterai ke CT primer transformator yang kemudian mengalir ke titik A trafo hingga ke ground melalui saklar. Pada saat saklar dipindahkan dari titik A ke titik B, arus listrik akan mengalir pada jalur 1 akan berhenti dan arus listrik jalur 2 akan mulai mengalir dan terminal positif baterai ke CT primer trafo hingga ground melalui saklar titik B.

Peralihan On dan Off atau B dan B pada saklar (switch) 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 semikian, arus listrik *Direct Current (DC)* yang mengalir di jalur 1 dan jalur 2 juga bergantian sebanyak 50 kali per detik juga sehingga ekuivalen dengan arus listrik *Alternating Current (AC)* yang berfrekuensi 50Hz. Sedangkan komponen utama yang digunakan sebagai Switch di rangkai switch inverter tersebut pada umumnya adalah MOSFET ataupun transistor. Sekunder transformator akan menghasilkan output yang berupa tegangan yang lebih tinggi tergantung pada jumlah lilitan pada kumparan sekunder transformator atau rasio lilitan antara primer dan sekunder transformator yang digunakan pada inverter tersebut.

Inverter merubah tegangan *Direct Current (DC)* dari akumulator menjadi tegangan *Alternating Current (AC)* yang berupa sinyal sinus setelah melalui pembetulan gelombang dan rangkaian filter. Tegangan output yang dihasilkan harus stabil baik amplitude tegangan maupun frekuensi tegangan yang dihasilkan, distorsi yang rendah, tidak terdapat tegangan transien serta tidak dapat di interupsi oleh suatu keadaan. Inverter merupakan suatu rangkaian yang digunakan untuk mengubah sumber tegangan *Direct Current (DC)* tetap menjadi tegangan *Alternating Current (AC)* dengan frekuensi tertentu. Komponen semikonduktor daya yang digunakan dapat berupa *Solar Charge Controller (SCC)* , transistor dan MOSFET yang beroperasi sebagai saklar dan pengubah. Saat arus *Direct Current (DC)* dirubah oleh sebuah rangkaian inverter menjadi arus *Alternating Current (AC)*, voltase yang keluar dari inverter masih sangat kecil. Agar arus tersebut menjadi arus dengan voltase yang lebih besar dan siap dipergunakan, diperlukan trafo step up. Trafo yang dipergunakan untuk inverter mempunyai konstruksi yang berbeda dengan trafo step up dan step down maupun trafo pada umumnya. Trafo umum maupun trafo step down pada dasarnya dapat juga dipergunakan sebagai trafo step up. Trafo step down menyediakan daya lebih besar pada bagian 220V untuk memberikan buffer agar tidak terjadi drop. Sedangkan pada trafo step up terjadi sebaliknya. Trafo step up memberikan buffer justru pada bagian inputnya.

## 2.5.2 Konsep Hubungan Inverter

Konsep hubungan inverter menjelaskan tentang bentuk rangkaian inverter pada suatu sistem PLTS terhadap pembangkitan daya listrik oleh panel surya, dan hubungan antara inverter dengan beban atau jaringan. Secara umum ada dua kelas inverter yaitu, inverter sentral atau disebut central inverters dan string inverters.

### a. Inverter Sentral (*Central Inverters*)

Inverter sentral biasanya digunakan pada berbagai sistem PLTS skala menengah dan skala besar. Central inverters menyajikan instalasi yang lebih handal dan sederhana, namun memiliki kekurangan yaitu ketidakseimbangan rugi-rugi (*mismatch losses*) meningkatkan yang disebabkan variasi profil tegangan dan arus dari modul surya pada array yang sama, dan ketiadaan dari maximum power point tracking (MPPT) untuk setiap string. Hal ini mungkin menyebabkan masalah pada array yang memiliki kemiringan dan sudut orientasi beragam/majemuk, berkaitan dengan iradiasi, bayangan atau tipe modul surya yang berbeda. Central inverters biasanya merupakan sistem tiga fasa dan dilengkapi transformator frekuensi jaringan (*grid frequency transformer*). Selain itu central inverters menggunakan konfigurasi master-slave yaitu beberapa inverter tidak akan bekerja/padam ketika iradiasi dalam keadaan rendah, sedangkan inverter lainnya tetap bekerja sesuai/mendekati pembenaran yang optimal. Ketika iradiasi tinggi, semua beban dibagikan dan ditanggung oleh semua inverter.

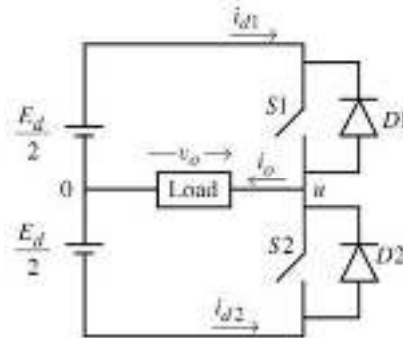
### b. Inverter String

Inverter string menggunakan inverter yang berlipat ganda untuk yang berlipat ganda untuk string array yang berlipat ganda juga. Penggunaan inverter string sangat banyak dan meningkat karena inverter string dapat mengatasi batasan daya yang luas dan lebih murah dalam proses pabrikasinya daripada jenis central inverter. Sistem ini sangat cocok untuk kondisi modul surya yang tidak dipasang pada orientasi yang sama, berbeda spesifikasi, atau perbedaan iradiasi yang diterima. Sistem ini memiliki kelebihan yaitu lebih mudah dalam perbaikan dan penggantian, karena tidak diperlukan personil dan spesialis, dan waktu yang dibutuhkan tidak selama sistem sentral, jadi tidak banyak hasil produksi energi yang terbuang saat perbaikan.

### 2.5.3 Inverter Satu Fasa

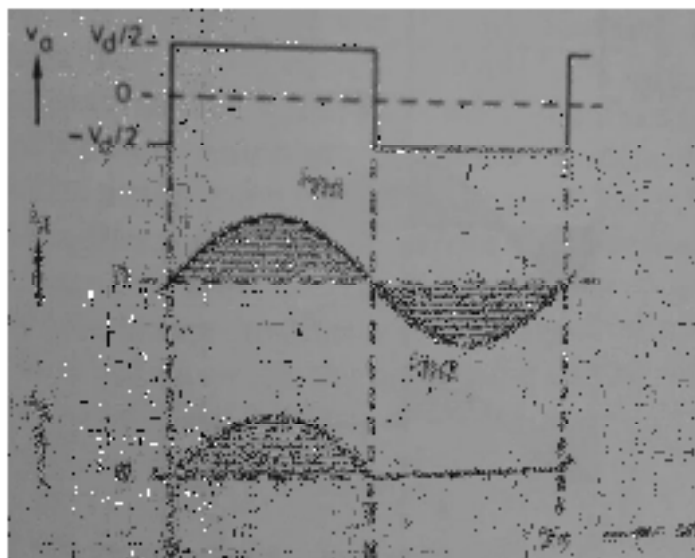
#### a. Inverter Setengah Jembatan

Dalam rangkaian inverter setengah jembatan satu fasa diperlukan dua kapasitor untuk menghasilkan titik N agar tegangan pada setiap kapasitor  $V_i/2$  dapat dijaga konstan.



**Gambar 2.14** Rangkaian Inverter Setengah Jembatan

Saklar S+ dan S- merepresentasikan saklar elektronis yang mencerminkan komponen semikonduktor daya. Saklar S+ dan S- tidak boleh bekerja secara serempak/simultan, karena akan menjadi hubung singkat rangkaian.



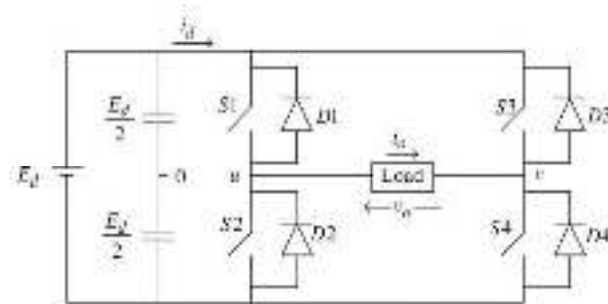
**Gambar 2.15** Inverter setengah jembatan dengan fase Sinusoidal

Pada gambar diatas menunjukkan gelombang untuk tegangan keluaran dan arus transistor dengan beban resistif. Inverter jenis ini membutuhkan dua sumber

DC (sumber tegangan DC simetris) dan ketika transistor off tegangan balik pada  $V_D$  menjadi  $V_D/2$ .

### b. Inverter Jembatan Penuh

Seperti halnya pada rangkaian inverter setengah jembatan, dalam rangkaian ini diperlukan dua buah kapasitor untuk menghasilkan titik N agar tegangan pada setiap kapasitor  $V_i/2$  dapat dijaga konstan. Terdapat dua sisi saklar, yaitu: saklar S1+ dan S1- serta S2+ dan S2-. Masing-masing sisi saklar ini tidak boleh bekerja secara bersamaan/simultan, karena akan terjadi hubung singkat rangkaian.



**Gambar 2.16** Rangkaian Inverter Jembatan Penuh

### 2.5.4 Amplitudo dan Frekuensi

Amplitudo adalah sebuah pengukuran skala yang non-negatif dari besar osilasi suatu gelombang. Amplitudo juga bisa didefinisikan sebagai jarak atau simpangan yang terjauh dari titik keseimbangan dalam gelombang sinusoide. Amplitudo juga bisa disimbolkan dalam sistem Internasional dengan symbol (A) dan satuan meter (m).

Frekuensi adalah jumlah atau banyaknya getaran yang terjadi dalam waktu kurang lebih satu detik. Satuan frekuensi adalah Hertz (Hz). Dalam frekuensi, bisa dirumuskan sebagai ( $f = N/t$ ) yang dimana (N) sebagai jumlah pada getaran, sedangkan (t) yaitu symbol waktu. Maka, dengan demikian bisa disimpulkan kalau jumlah frekuensi yaitu jumlah getaran dibagi dengan jumlah waktu.

Rumus Periode dan Frekuensi :

$$T = \frac{1}{f} \quad ; \quad T = \frac{t}{n} \quad (2.8)$$

$$f = \frac{1}{T} \quad ; \quad f = \frac{n}{t} \quad (2.9)$$



Dimana:

T = Periode (s)

f = Frekuensi (Hz)

t = Waktu (s)

n = Jumlah Putaran

Rumus amplitude yang perlu diketahui :

Rumus Amplitudo simpangan periode getaran :  $T = t/n$

Rumus frekuensi getaran Amplitudo :  $F = n/t$

Rumus hubungan antara frekuensi dan periode :  $T = 1/f$  atau  $f = 1/T$

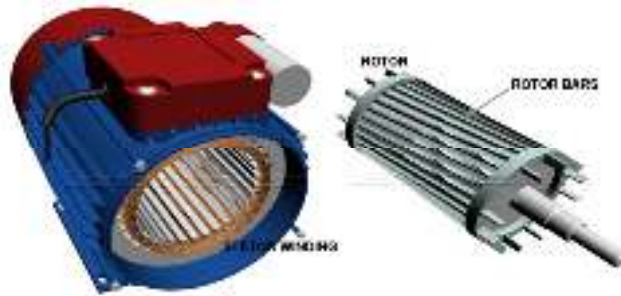
## 2.6 Beban

Beban merupakan suatu peralatan yang mengonsumsi daya yang dihasilkan oleh sumber daya. Beban dirumah tangga misalnya seperti lampu, kipas angin, alat elektronik dan lain-lain. 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 tersebut tidak menggunakan daya listrik.

### 2.6.1 Motor Induksi Satu Fasa

Motor induksi satu fasa adalah satu jenis dari motor-motor listrik yang bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik. Motor induksi memiliki sebuah sumber energi listrik yaitu disisi stator, sedangkan sistem kelistrikan disisi rotornya diinduksikan melalui celah udara dari stator dengan media elektromagnetik. Hal ini yang menyebabkan diberi nama motor induksi. Adapun penggunaan motor induksi ini di industri adalah sebagai penggerak, seperti kompresor, pompa, penggerak utama proses produksi atau mill, peralatan workshop seperti mesin-mesin bor, grinda, crane, dan sebagainya. Kontruksi motor induksi satu fasa terdiri atas dua komponen yaitu stator dan rotor. Stator adalah bagian yang tidak bergerak dan rotor adalah bagian yang bergerak yang bertumpu pada bantalan poros terhadap stator.

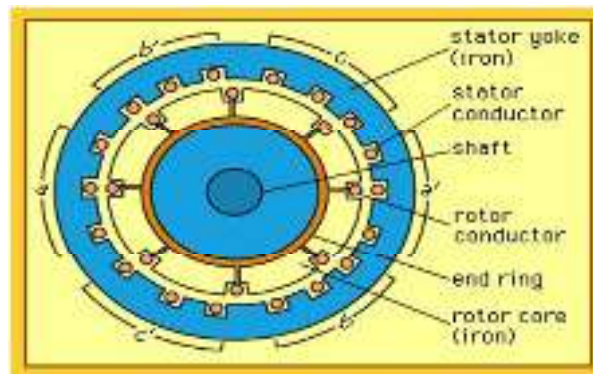
Motor induksi terdiri atas kumparan stator dan kumparan rotor yang berfungsi membangkitkan gaya gerak listrik akibat dari adanya arus listrik bolak-balik satu fasa yang melewati kumparan-kumparan tersebut sehingga terjadi suatu interaksi induksi medan magnet antara stator dan rotor. Bentuk dan konstruksi motor tersebut dapat dilihat pada gambar berikut:



**Gambar 2.17** Bagian-bagian utama motor induksi satu fasa

Motor induksi satu fasa tidak terjadi medan magnet putar seperti halnya motor induksi tiga fasa, sehingga diperlukan suatu kumparan bantu untuk mengawali berputar. Motor induksi satu fasa memiliki dua belitan stator, yaitu belitan fasa utama (belitan U1- U2) dan belitan fasa bantu (belitan Z1-Z2).

Karena bentuknya yang sederhana dan harga yang relatif murah, motor induksi satu fasa banyak yang dipakai untuk keperluan motor kecil di dalam rumah tangga seperti kipas angin, mesin cuci, pompa air dan lain-lainnya. Struktur motor induksi satu fasa sama dengan motor induksi tiga fasa jenis rotor sangkar, kecuali kumparan statornya yang hanya terdiri dari satu fasa. Seperti yang sudah diketahui kumparan stator tiga fasa bila dihubungkan dengan sumber tegangan bolak balik akan menghasilkan suatu medan magnet yang berputar terhadap ruang. Medan putar inilah yang pada dasarnya menjadi prinsip motor induksi. Fasa tunggal tidak menghasilkan medan putar.



**Gambar 2.18** Kontruksi motor induksi satu fasa

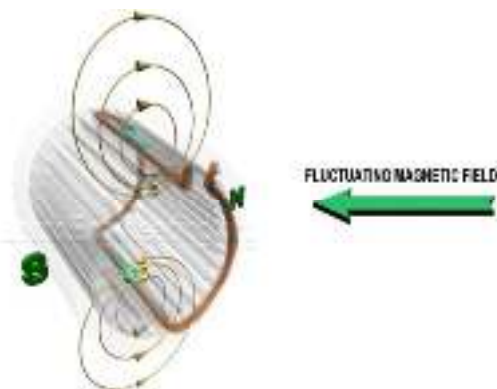
Rotor umumnya berbentuk silinder dan bergerigi sedangkan stator berbentuk silinder yang melingkari seluruh badan rotor. Stator harus dilengkapi dengan kutub-kutub magnet dimana kutub utara dan selatan pada stator harus sama dan dipasang melingkari rotor sebagai suplai medan magnet dan kumparan stator untuk menginduksi kutub sehingga menciptakan medan magnet. Stator umumnya dilengkapi dengan stator winding yang bertujuan membantu putaran rotor, dimana stator winding dilengkapi dengan konduktor berupa kumparan. Selain itu, stator juga dilapisi dengan lamina berbahan dasar silikon dan besi yang bertujuan untuk mengurangi tegangan yang terinduksi pada sumbu stator dan mengurangi dampak karugian akibat munculnya arus eddy (eddy current) pada stator. Rotor umumnya dibuat dari aluminium dan dibuat bergerigi untuk menciptakan celah yang akan diisi konduktor berupa kumparan. Selain itu, rotor juga dilapisi dengan lamina untuk menambah kinerja dari rotor yang digunakan. Masing-masing dipasang pada besi yang ditunjukkan pada gambar diatas.

### **2.6.2 Prinsip Kerja Motor Induksi Satu Fasa**

Motor induksi satu fasa dilengkapi dengan arus AC satu fasa. Ini menghasilkan fluks magnet berfluktasi disekitar rotor. Ini berarti sebagai arah perubahan arus AC, arah medan magnet yang dihasilkan berubah. Kondisi ini tidak cukup untuk menyebabkan rotasi rotor. Disini prinsip teori medan putaran ganda diterapkan. Menurut teori medan putaran ganda, mengajukan bolak-balik tunggal disebabkan oleh kombinasi dua bidang yang besarnya sama tetapi berputar diarah yang berlawanan. Besarnya dua bidang ini sama dengan setengah besarnya bidang bolak-balik. Ini berarti bahwa ketika AC diterapkan, dua bidang

setengah besarnya dihasilkan dengan besaran yang sama tetapi berputar ke arah yang berlawanan. Jadi, sekarang ada arus yang mengalir di stator dan medan magnet yang berputar pada rotor, dengan demikian hukum Faraday tentang induksi elektromagnetik bekerja pada rotor. Menurut hukum ini, medan magnet berputar menghasilkan listrik di rotor yang menghasilkan gaya  $F$  yang dapat memutar rotor.

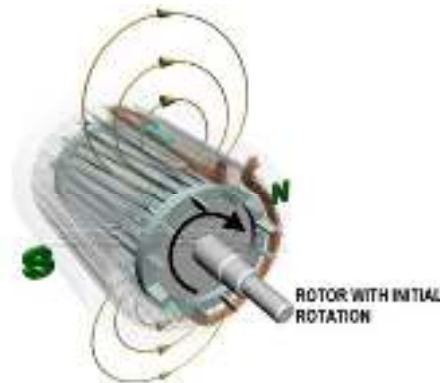
Pada sebuah motor induksi satu fasa dimana motor ini disuplai oleh sebuah sumber AC satu fasa. Ketika sumber AC diberikan pada stator winding dari motor, maka arus dapat mengalir pada stator winding. Fluks yang dihasilkan oleh sumber AC pada stator winding tersebut disebut sebagai fluks utama. Karena munculnya fluks utama ini maka fluks medan magnet dapat dihasilkan oleh stator.



**Gambar 2.19** Dampak adanya arus pada stator

Bila rotor dari motor tersebut sudah diputar sedikit. Karena rotor berputar maka dapat dikatakan bahwa konduktor pada rotor akan bergerak melewati stator winding. Karena konduktor pada rotor bergerak relatif terhadap fluks pada stator winding, akibatnya muncul tegangan ggl (gaya gerak listrik) pada konduktor rotor sesuai dengan hukum Faraday. Anggap lagi motor terhubung dengan beban yang akan dioperasikan. Karena motor terhubung dengan beban maka arus dapat mengalir pada kumparan rotor akibat adanya tegangan ggl pada rotor dan terhubung rotor dengan beban. Arus yang mengalir pada rotor ini disebut arus rotor. Arus rotor ini juga menghasilkan fluks dinamakan fluks rotor. Interaksi antara kedua fluks inilah yang menyebabkan rotor di dalam motor dapat berputar sendiri. Kondisi awal diasumsikan rotor sudah diberi gaya luar untuk menggerakkan konduktor pada rotor, karena jika tidak maka rotor akan diam

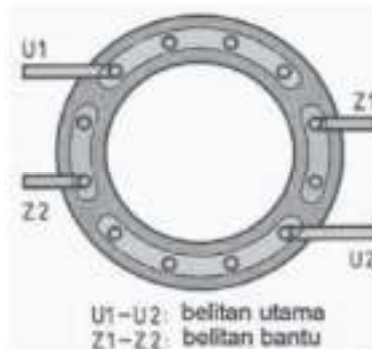
terhadap fluks pada kumparan stator sehingga tidak terjadi tegangan ggl pada kumparan rotor, sesuai hukum Faraday.



**Gambar 2.20** Putaran pada rotor akibat fluks

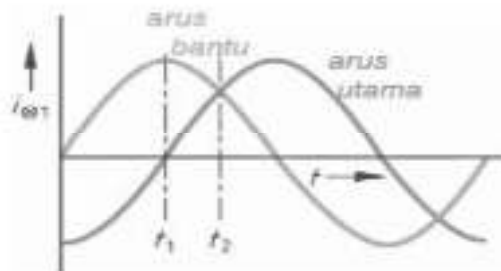
Adanya arus stator yang mengakibatkan munculnya arus pada rotor karena hukum Faraday. Masing-masing arus menghasilkan fluks yang mempengaruhi rotor. Arus stator akan menghasilkan fluks utama, sedangkan arus pada rotor menghasilkan fluks pada rotor. Masing-masing fluks ini akan mempengaruhi arah putaran rotor, hanya saja arah keduanya berlawanan. Sesuai hukum Lorentz, apabila ada arus yang dialiri arus dan terdapat fluks medan magnet disekitar kabel tersebut maka akan terjadi gaya pada kabel tersebut. Karena besarnya fluks pada stator dan rotor relatif sama maka gaya yang dihasilkan juga sama. Namun karena arah gaya yang berbeda mengakibatkan rotor tidak berputar akibat kedua gaya yang saling menghilangkan. Hal ini juga mengakibatkan motor induksi perlu diputar sedikit, agar salah satu gaya yang dihasilkan oleh fluks lebih besar daripada yang lainnya sehingga rotor dapat berputar.

Motor induksi satu fasa berbeda cara kerjanya dengan motor induksi tiga fasa. Pada motor induksi tiga fasa, kumparan stator mempunyai tiga belitan yang sedemikian berbeda fasa  $120^0$  listrik. Perbedaan ini akan menghasilkan medan putar pada stator yang dapat memutar rotor. Pada motor induksi satu fasa hanya memiliki dua belitan atau kumparan stator, yaitu kumparan utama (belitan U1-U2) dan kumparan bantu (belitan Z1-Z2).



**Gambar 2.21** Bentuk hubungan sederhana belitan/ kumparan pada motor induksi satu fasa

Kumparan utama pada motor induksi satu fasa menggunakan penampang kawat tembaga lebih besar sehingga memiliki impedansi lebih kecil. Sedangkan kumparan bantu dibuat dari tembaga berpenampang kecil dan jumlah belitannya lebih banyak, sehingga impedansinya lebih besar dibanding impedansi kumparan utama.



**Gambar 2.22** Gelombang arus kumparan bantu dan kumparan utama

Grafik arus belitan bantu I dan arus belitan utama berbeda fasa sebesar  $\phi$ , hal ini disebabkan karena perbedaan besar impedansi kedua belitan tersebut. Perbedaan fasa arus ini akan menghasilkan torsi pada motor yang dapat memutar rotor motor induksi satu fasa. Bila rotor telah berputar, maka kumparan motor dapat diaktifkan hanya satu saja yaitu kumparan utama saja. Jika dibandingkan dengan kinerja motor yang lebih, maka dapat dirancang untuk mengaktifkan kedua kumparan saat start dan saat jalan, seperti yang diterapkan pada motor kapasitor.

### 2.6.3 Karakteristik Pengaturan Kecepatan Motor Induksi

Motor induksi pada umumnya berputar dengan kecepatan konstan mendekati kecepatan sinkronnya, meskipun demikian pada penggunaan tertentu dikehendaki juga adanya pengaturan putaran. Pengaturan putaran motor induksi memerlukan biaya yang agak tinggi. Biasanya pengaturan ini dapat dilakukan dengan beberapa cara :

1. Mengubah jumlah kutub motor

Karena kecepatan motor ( $n_s$ ) merupakan perbandingan antara frekuensi dengan jumlah perubahan kutub. Jumlah kutub dapat diubah dengan merencanakan kumparan stator sedemikian rupa sehingga dapat menerima 14 tegangan masuk pada posisi kumparan yang berbeda-beda. Jadi semakin banyak jumlah kutub, maka putaran motor akan semakin lambat.

$$n_s = \frac{120f}{p} \tag{2.10}$$

Dimana :

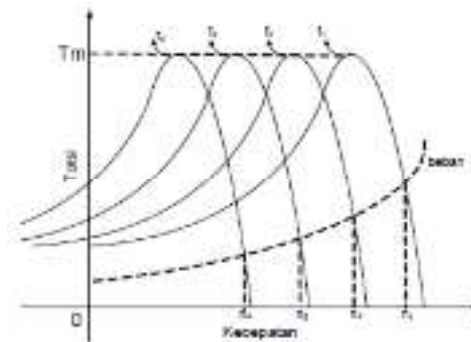
P = Jumlah kutub

F = Frekuensi (Hz)

$n_s$  = Kecepatan putar motor (rpm)

2. Mengubah frekuensi jala-jala

Pengaturan putaran motor induksi dapat dilakukan dengan mengubah-ubah harga frekuensi jala. Hanya saja untuk menjaga keseimbangan kerapatan fluks, perubahan tegangan harus dilakukan bersamaan dengan perubahan frekuensi. Persoalannya sekarang adalah bagaimana pengaturan frekuensi dengan cara yang efektif dan ekonomis.



**Gambar 2.23** Karakteristik Pengaturan Kecepatan Terhadap Perubahan Frekuensi

### 3. Mengatur tegangan jala-jala

Pengaturan putaran motor induksi juga dapat dilakukan dengan mengubah tegangan jala-jala. Semakin besar nilai tegangan pada motor, maka kecepatan motor akan semakin besar. Semakin besar beban yang diberikan pada motor mengakibatkan tegangan pada motor akan semakin besar mengikuti batas kecepatan motor.

Tegangan pada motor induksi berpengaruh karena perubahan frekuensi mengakibatkan perubahan tegangan.

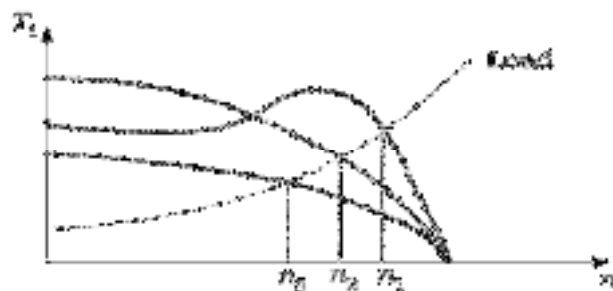
$$T = \frac{3}{\omega} (V_1)^2 \frac{sa^2 R^2}{(a^2 R_2)^2 + (a^2 X_2)^2} \quad (2.11)$$



**Gambar 2.24** Karakteristik Perubahan Tegangan Terhadap Kecepatan Motor Induksi

### 4. Pengaturan tahanan luar

Tahanan luar motor rotor belitan dapat diatur, dengan demikian dihasilkan karakteristik kopel kecepatan yang berbeda-beda. Putaran akan berubah dari  $n_1$  ke  $n_2$  ke  $n_3$  dengan bertambahnya tahanan luar yang dihubungkan ke rotor.



**Gambar 2.25** Karakteristik Tahanan Luar Terhadap Putaran Motor



## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat**

Penelitian dilaksanakan dengan melakukan percobaan di Laboratorium Teknik Tenaga Listrik Gedung L Lt. 1 berlokasi di Universitas HKBP Nommensen Medan Jl. Sutomo No. 4A, Medan Timur. Lokasi tersebut dipilih karena memiliki semua peralatan yang dibutuhkan untuk percobaan.

Penelitian dilaksanakan selama dua minggu dimulai dari tanggal 30 Juli sampai 14 Agustus 2020.

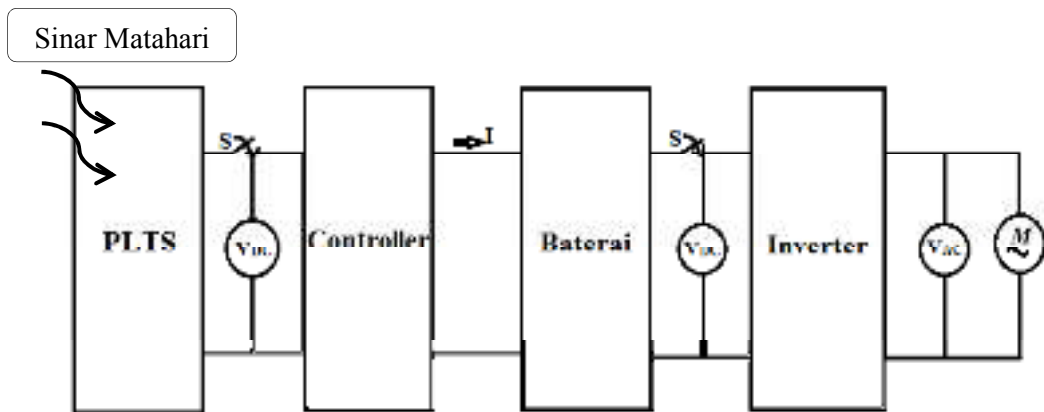
#### **3.2 Alat yang dibutuhkan**

Dalam percobaan dibutuhkan peralatan sebagai berikut:

1. Panel percobaan
2. Panel PLTS
3. Solar Charge Controller
4. Baterai
5. Inverter
6. Voltmeter Dc
7. Amperemeter Dc
8. Tachometer
9. Kabel
10. Kipas Angin

#### **3.3 Rangkaian Percobaan**

Rangkaian yang digunakan untuk percobaan ditunjukkan seperti gambar dibawah ini:



**Gambar 3.1** Rangkaian Percobaan

1. Panel Surya

Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Panel surya sering disebut sel fotovoltaic yang dapat diartikan “cahaya listrik”. Energi listrik yang diproduksi biasanya akan digunakan untuk kebutuhan listrik dan ada yang disimpan dibaterai.



**Gambar 3.2** Panel Surya

Dalam percobaan ini digunakan jenis panel surya jenis polykristal, merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabriksi dengan proses pengocoran. Jenis panel ini memerlukan luas permukaan lebih luas dari monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama.

Tabel 3.1 merupakan data spesifikasi dari panel surya yang digunakan pada percobaan, dapat dilihat tipe modul hingga temperature rangenya.

**Tabel 3.1** Spesifikasi Panel Surya

Solar Module	
Module Type	SP-20
Rated max power (Pmax)	20W
Current at Pmax (Imax)	1.15A
Voltage at Pmax (Vmp)	17.4V
Short-circuit current (Isc)	1.23A
Open circuit voltage (Voc)	22.4V
Dimension (mm)	350*490*25
Number of cells	36
Max. system Voltage	700V
Temperature range	-45-+80°C

## 2. Solar Charge Controller (SCC)

*Solar Charge Controller (SCC)* adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. Baterai di charge pada tegangan 14-14.7 Volt. Jika menggunakan panel surya 12 V dimana rata-rata tegangan outputnya 16 – 21 Volt jadi SCC sangat dibutuhkan agar tidak terjadi kerusakan akibat over charging.



**Gambar 3.3** Solar Charge Controller

### 3. Baterai

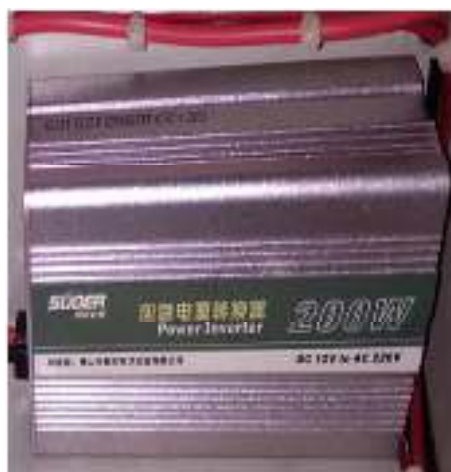
Baterai berfungsi menyimpan arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya sebelum dimanfaatkan untuk menggerakkan beban. Beban dalam penelitian ini menggunakan beban AC. Dalam penelitian akan digunakan baterai 12volt.



**Gambar 3.4** Baterai

### 4. Inverter

Inverter adalah perangkat elektronik yang mengkonversikan arus serah menjadi arus bolak-balik. Inverter yang digunakan memiliki tegangan 12 volt DC menjadi 220 volt AC.



**Gambar 3.5** Inverter

5. Beban

Beban yang digunakan adalah kipas angin Maspion EF-30 P3 Desk Fan dengan spesifikasi :

**Tabel 3.2** Spesifikasi Kipas Angin

Tipe	EF-30
Ukuran	12 inch (30 cm)
Daya max	40 watt
Tegangan	220 volt
Dimensi	39.5 cm x 29 cm x 50.0 cm



**Gambar 3.6** Kipas angin sebagai beban

Gambar diatas merupakan bentuk fisik dari kipas angin Maspion EF-30 P3 Desk Fan yang digunakan pada percobaan sebagai beban.

### 3.4 Langkah-langkah Percobaan

Gambaran umum langkah-langkah kerja dalam percobaan ini dapat dilihat dalam gambar berikut :

1. Membuat rangkaian percobaan seperti gambar 3.1.
2. Menjemur panel surya.
3. Mengukur temperatur udara.
4. Mengukur  $V_{OC}$  sebelum panel surya dibebani.
5. Lalu hubungkan panel surya ke Baterai melalui Controller.
6. Mengukur  $V_{DC}$  pada Baterai.
7. Mengukur tegangan  $V_{AC}$ .
8. Mengukur frekuensi.
9. Mengukur putaran motor.

