

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Setelah penulis melakukan telaah terhadap beberapa referensi yang ada, ada beberapa yang memiliki keterkaitan dengan perancangan yang penulis lakukan. Wasana Saputra melakukan penelitian tentang “rancang bangun solar tracking system untuk mengoptimalkan penyerapan energi matahari pada solar cell”. [3] Dalam penelitiannya, dia berhasil membuat prototype solar tracking system yang terdiri dari solar tracker yang berfungsi untuk mengoptimalkan penerimaan energi matahari oleh solar cell. Meskipun hasil pengujian belum maksimal, karena belum menemukan posisi peletakan LDR yang benar.

Supriyadi dari Politeknik Negeri Bandung sudah melakukan penelitian dengan solar tracking system dengan double track membuktikan dapat memperbaiki efisiensi dari metode tanpa tracking yaitu 15,19% sedangkan dengan menggunakan tracking system 16,57% atau meningkat sekitar 1,38% dengan perbaikan tegangan yang cukup signifikan yaitu sekitar 12 % [4]

Bkd Surya Negara, I Wayan Arta Wijaya, Gd Maharta Panayun dari Universitas Udayana juga melakukan penelitian tentang perbandingan sistem solar tracking dan solar reflector dimana dari segi efisiensi kedua sistem ini tidak berbeda jauh karena pada sistem solar tracking tegangan dan daya yang diserap lebih stabil pada setiap waktunya berbeda dengan sistem reflektor akan besar nilai penyerapannya pada saat matahari berada pada titik tengah dengan nilai hampir dua kali lipat solar tracking pada jam tersebut, tetapi mereka menyebutkan sistem tracking lebih disarankan karena daya serap solar cell akan lebih stabil sehingga lebih dari segi keandalan pada sistem juga dari segi ruang karena sistem solar reflector membutuhkan dua cermin besar yang akan memakan banyak ruang. [5]

Selain itu Imam Raharjo, juga melakukan penelitian yang berhubungan dengan pembangkit listrik, yaitu tentang “ perancangan sistem

hibrid solar cell-baterai-pln ”. Dengan menggunakan sistem hibrid yang terdiri dari 2 buah sumber pembangkitan dari solar cell dan dari PLN, pemakaian ini bertujuan untuk saling bantu antar pembangkit. Dengan menggunakan solar cell sebesar 40wp dan mengalami beban puncak pada pukul 13.00 dengan menghasilkan tegangan 20,03v, arus 4,52v dan daya sebesar 36,52W. Keadaan baterai 100% ketika tegangan mencapai 12,7v dan dilakukan pengisian ketika keadaan baterai 30%-40% dengan tegangan sebesar 11,8V. [6]

Perbedaan tugas akhir yang akan dikerjakan penulis dengan referensi diatas adalah penulis akan menggunakan sensor *photoelectric* sebagai acuan tracking solar cell dan juga menggunakan PLC sebagai control dari sistem dan juga HMI sebagai monitoring nilai tegangan dan arus pada sistem yang akan diproses melalui PLC. Diharapkan alat ini dapat menambah efektifitas solar cell untuk pengisian baterai pada sistem dan dapat dimonitoring dengan baik.

## 2.2 *Solar Cell* ( Panel Surya )

Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik. Mereka disebut surya atau matahari atau “sol” karena matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan. Panel surya seringkali disebut sel *photovoltaic*, *photovoltaic* dapat diartikan sebagai “cahaya listrik”. Sel surya bergantung pada efek *photovoltaic* untuk menyerap energi.<sup>[1]</sup>

*Photovoltaic* adalah teknologi yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. *Photovoltaic* biasanya dikemas dalam sebuah unit yang disebut modul. Dalam sebuah modul surya terdiri dari banyak sel surya yang bisa disusun secara seri maupun paralel. Sedangkan yang dimaksud dengan surya adalah sebuah elemen semikonduktor yang dapat mengkonversi energi

surya menjadi energi listrik atas dasar efek *photovoltaic*. Solar cell mulai populer akhir-akhir ini, selain mulai menipisnya cadangan energi fosil dan isu global warming. energi yang dihasilkan juga sangat murah karena sumber energi (matahari) bisa didapatkan secara gratis.<sup>[2]</sup>



**Gambar 2.1** *Solar Cell*<sup>[3]</sup>

### **2.2.1** Jenis Jenis *Solar Cell* ( Panel Surya )

Berdasarkan pada tipe bahan *solar cell*nya, modul surya yang umum dipakal dikategoñkan kedalam 3 tipe dengan efisiensi konversinya yaitu perbandingan antara daya yang dihasilkan modul surya dengan radiasi matahari yang ditangkap modul surya dalam satuan (%): <sup>[4]</sup>

- a. *Type Mono Crystalline*; terbuat dari *silicon* kristal tunggal, efisiensi konversi paling tinggi(12%-18%). Secara visual dapat dilihat

dimana warna solar cell merata. Harga tipe modul ini relatif paling mahal.

b. *Type Poly Crystalline*; terbuat dari silikon kristal banyak (Poly), saat ini paling banyak dipakai, efisiensi lebih rendah dari monokristal tetapi lebih tinggi dari amorphous. (10%- 15%). Secara visual dapat dilihat dimana warna permukaan solar cell tidak merata & seragam. Harga tipe modul ini relatif lebih murah dari monokristal.

c. *Type Amorphous*; terbuat dari *silicon* yang tidak terbentuk kristalnya, oleh karenanya disebut juga sebagai non kristalin. Secara visual tipe modul surya ini dapat dilihat dari *solar cell* nya yg berupa lembaran (*sheet*, dan bukan kotak-kotak kecil seperti tipe kristalin) dan juga dari ukuran fisiknya. Karena efisiensi konversinya yang rendah (paling rendah diantara kedua tipe di atas berkisar 8%-12%), maka ukuran modul surya tipe ini hampir dua kali lipat dari ukuran modul surya kristalin dengan kapasitas yang sama. Beberapa tahun yang lalu tipe ini ditinggalkan para pemakainya karena ketidakstabilan *output*nya apabila terkena matahari langsung. Belakangan beberapa produsen meng-claim bahwa teknologi *amorphous* telah diperbaiki dan dapat menghasilkan listrik yang lebih stabil. Tipe ini paling murah di antara dua tipe lainnya.

*Output* standar setiap modul surya umumnya dicantumkan pada label yang di lekatkan di bagian belakang dari modul surya. *Output* tersebut di ukur pada STC (*Standard Test Condition* 1 kW/m<sup>2</sup> pada distribusi spectral AM 1,5 dan Temperatur cell 25°C). Sedangkan *output* harian yang dihasilkan oleh modul surya sangat tergantung pada tingkat radiasi matahari yang menyinari modul surya.

### 2.2.2 Faktor Yang Mempengaruhi Modul Photovoltaic

#### 1. Bahan Pembuat *Photovoltaic*

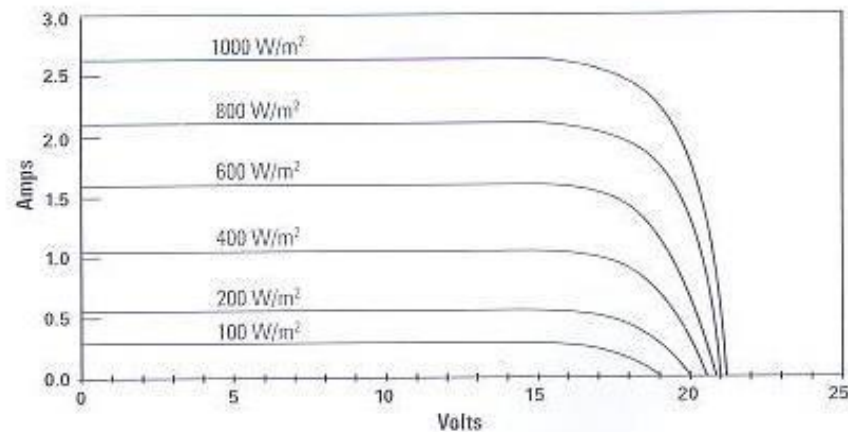
Panel sel surya terdiri dari *photovoltaic*, yang menghasilkan listrik dari intensitas cahaya, saat intensitas cahaya berkurang (berawan, hujan, mendung) arus listrik yang dihasilkan juga akan berkurang.

Dengan menambah panel sel surya (memperluas) berarti menambah konversi tenaga surya. Umumnya panel sel surya dengan ukuran tertentu memberikan hasil tertentu pula. Contohnya ukuran  $a$  cm x  $b$  cm menghasilkan DC (*Direct Current*) sebesar  $x$  Watt per jam. [5]

#### 2. Resistansi Beban

Tegangan baterai adalah tegangan operasi dari modul *photovoltaic*, apabila baterai dihubungkan langsung dengan modul *photovoltaic*. Sebagai contoh umumnya baterai 12 volt, tegangan baterai biasanya antara 11,5 – 15 volts. Untuk dapat *mencharge* baterai, modul *photovoltaic* harus beroperasi pada tegangan yang lebih tinggi daripada tegangan baterai bank.

Efisiensi paling tinggi adalah saat modul *photovoltaic* beroperasi dekat pada *maximum power point*. Pada contoh di atas, tegangan baterai harus mendekati tegangan  $V_{mp}$ . Apabila tegangan baterai menurun di bawah  $V_{mp}$ , ataupun meningkat di atas  $V_{mp}$ , maka efisiensinya berkurang.



**Gambar 2.2** bentuk kurva I-Vmp terhadap resistansi beban solar Cell

### 3. Intensitas Cahaya Matahari

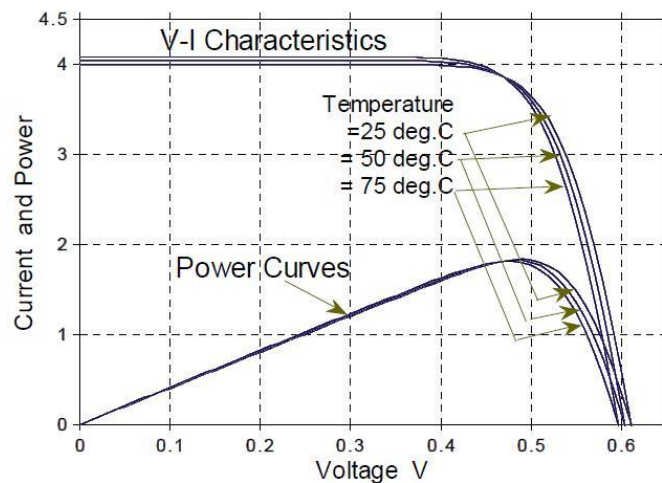
Semakin besar intensitas cahaya matahari secara proporsional akan menghasilkan arus yang besar. Seperti gambar berikut, tingkatan cahaya matahari menurun, bentuk dari kurva I-V menunjukkan hal yang sama, tetapi bergerak ke bawah yang mengindikasikan menurunnya arus dan daya. Tegangan adalah tidak berubah oleh bermacam-macam intensitas cahaya matahari.

### 4. Suhu / temperatur modul *photovoltaic*

Sebagaimana suhu modul *photovoltaic* meningkat diatas standar suhu normal 25 derajat celcius, efisiensi modul photovoltaic, efisiensi dan tegangan akan berkurang. Gambar di bawah ini mengilustrasikan bahwa, sebagaimana, suhu sel meningkat diatas 25 derajat celcius (suhu modul photovoltaic, bukan suhu udara), bentuk kurva I-V tetap sama, tetapi

bergesae ke kiri sesuai dengan kenaikan suhu modul *photovoltaic*, menghasilkan tegangan dan daya yang lebih kecil. Panas dalam kasus ini, adalah hambatan listrik untuk aliran elektron.

Untuk itu aliran udara di sekeliling modul *photovoltaic* sangat penting untuk menghilangkan panas yang menyebabkan suhu modul *photovoltaic* yang tinggi.

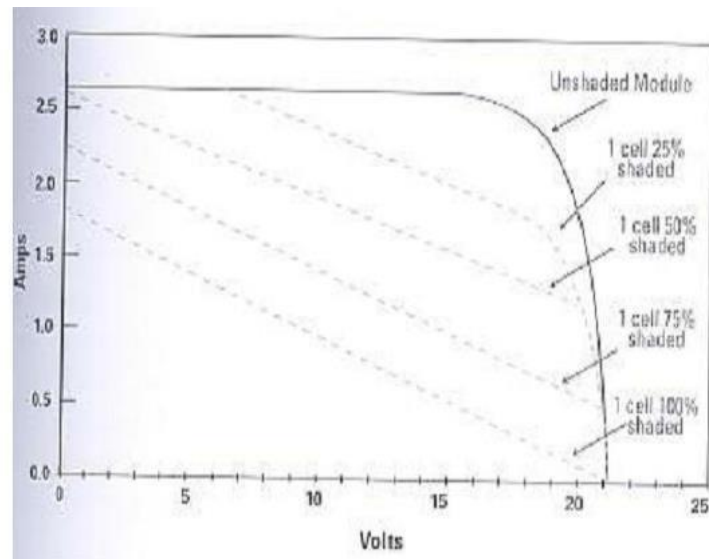


**Gambar 2.3** bentuk kurva I-Vmp terhadap suhu

##### 5. Bayangan/shading

Model *photovoltaic*, terdiri dari beberapa silikon yang diserikan untuk menghasilkan daya yang diinginkan. Satu silikon meghasilkan 0,46 volt, untuk membentuk modul *photovoltaic* 12 volt, 46 silikon diserikan, hasilnya adalah  $0,46 \text{ volt} \times 36 = 16.56$ .

*Shading* adalah dimana salah satu atau lebih silikon dari modul photovoltaic tertutup dari sinar matahari. *Shading* akan mengurangi pengeluaran daya dari modul photovoltaic. Beberapa jenis modul photovoltaic sangat terpengaruh oleh *shading* dibandingkan yang lain.



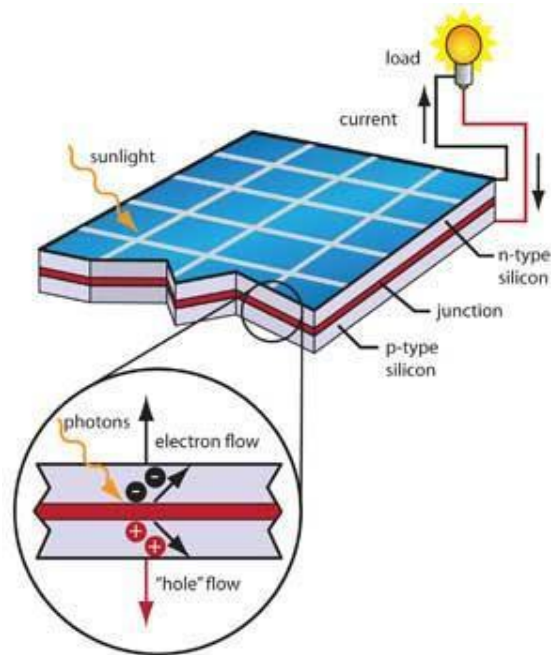
**Gambar 2.4** bentuk kurva I-Vmp terhadap *shading*

### 2.2.3 Prinsip Kerja

Sel surya terdiri dari beberapa buah sel silikon yang disusun secara seri. Sel ini menyerap sinar matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik. Susunan dari beberapa sel surya disebut modul, sedangkan susunan beberapa modul disebut array. Dalam penggunaannya, sel surya seringkali dibutuhkan untuk dapat menghasilkan nilai daya yang lebih besar agar dapat digunakan sebagai catu daya, sehingga diperlukan sel surya yang

banyak. Hal tersebut dapat terpenuhi dengan cara merakit sejumlah sel surya dengan menghubungkan sedemikian rupa oleh pabrik, sehingga tahan terhadap temperatur yang tinggi serta benturan mekanis yang terjadi. Sel surya diproduksi dari bahan semikonduktor yaitu silikon yang berperan sebagai isolator pada temperatur rendah dan sebagai konduktor bila ada energi dan panas.

Panel sel surya merupakan modul yang terdiri beberapa sel surya yang digabung dalam hubungan seri dan paralel tergantung ukuran dan kapasitas yang diperlukan. Yang sering digunakan adalah modul sel surya 20 watt. Modul sel surya ini menghasilkan energi listrik yang proporsional dengan luas permukaan panel yang terkena sinar matahari. Sel surya terbuat dari potongan silikon yang sangat kecil dengan dilapisi bahan kimia khusus untuk membentuk dasar dari sel surya. Sel surya pada 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 memanfaatkan efek photovoltaic untuk merubah energi surya menjadi energi listrik. Berikut adalah diagram kerja solar cell pada gambar 2.5. [6]



**Gambar 2.5** Diagram Kerja Sel Surya [7]

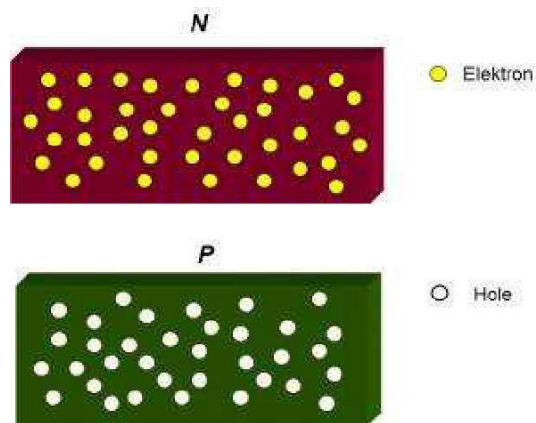
### 2.2.3.1 Proses Konversi Solar Cell

Solar cell tersusun atas dua jenis semikonduktor, yakni jenis n dan jenis p. Semikonduktor jenis n merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron, sehingga kelebihan muatan negatif, (n=negatif). Sedangkan semikonduktor jenis p memiliki kelebihan hole, sehingga disebut dengan p (p=positif) karena kelebihan muatan positif. [8]

Pembuatan dua jenis semikonduktor ini dimaksudkan untuk meningkatkan tingkat konduktifitas atau tingkat kemampuan daya hantar listrik dan panas semikonduktor alami. Di dalam semikonduktor alami ini,

elektron maupun hole memiliki jumlah yang sama. Kelebihan elektron atau *hole* dapat meningkatkan daya hantar listrik maupun panas dari sebuah semikonduktor. Dua jenis semikonduktor n dan p ini jika disatukan akan membentuk sambungan p-n atau dioda p-n. Istilah lain menyebutnya dengan sambungan metalurgi (*metallurgical junction*) yang dapat digambarkan sebagai berikut:

- a. Semikonduktor jenis p dan n sebelum disambung

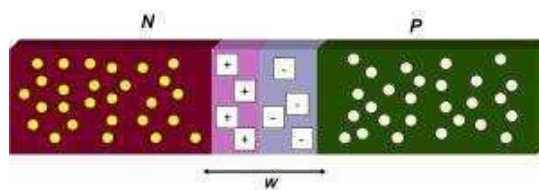


**Gambar 2.6** Semikonduktor jenis p dan n Sebelum

Disambung <sup>[9]</sup>

- b. Sesaat setelah dua jenis semikonduktor ini disambung, terjadi perpindahan elektron-elektron dari semikonduktor n menuju semikonduktor p, dan perpindahan *hole* dari semikonduktor p menuju semikonduktor n.

- c. Elektron dari semikonduktor n bersatu dengan hole pada semikonduktor p yang mengakibatkan jumlah *hole* pada semikonduktor p akan berkurang. Daerah ini akhirnya berubah menjadi lebih bermuatan negatif. Pada saat yang sama, hole dari semikonduktor p bersatu dengan elektron yang ada pada semikonduktor n yang mengakibatkan jumlah elektron di daerah ini berkurang. Daerah ini akhirnya lebih bermuatan positif.

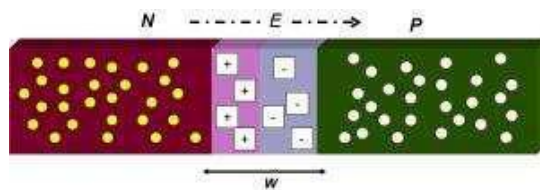


**Gambar 2.7** Hasil muatan positif dan negatif pada semikonduktor

- d. Daerah negatif dan positif ini disebut dengan daerah deplesi (*depletion region*) ditandai dengan huruf W
- e. Baik elektron maupun *hole* yang ada pada daerah deplesi disebut dengan pembawa muatan minoritas

(*minority charge carriers*) karena keberadaannya di jenis semikonduktor yang berbeda.

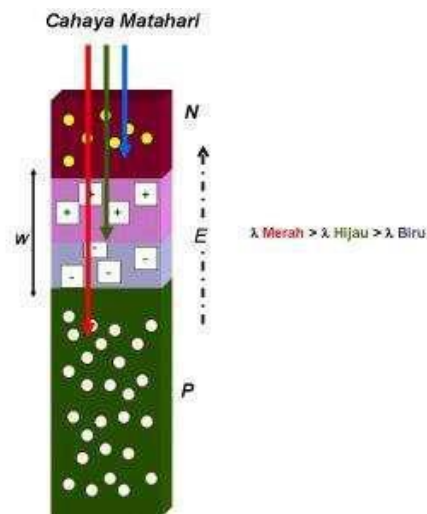
- f. Dikarenakan adanya perbedaan muatan positif dan negatif di daerah deplesi, maka timbul dengan sendirinya medan listrik internal  $E$  dari sisi positif ke sisi negatif, yang mencoba menarik kembali *hole* ke semikonduktor p dan elektron ke semikonduktor n. Medan listrik ini cenderung berlawanan dengan perpindahan *hole* maupun elektron pada awal terjadinya daerah deplesi.



**Gambar 2.9** Timbulnya Medan Listrik Internal  $E$

- g. Adanya medan listrik mengakibatkan sambungan pn berada pada titik setimbang, yakni saat di mana jumlah hole yang berpindah dari semikonduktor p ke n dikompensasi dengan jumlah *hole* yang tertarik kembali ke arah semikonduktor p akibat medan listrik  $E$ . Begitu pula dengan jumlah elektron yang berpindah dari semikonduktor n ke p, dikompensasi dengan mengalirnya kembali elektron ke semikonduktor n akibat tarikan medan listrik  $E$ .

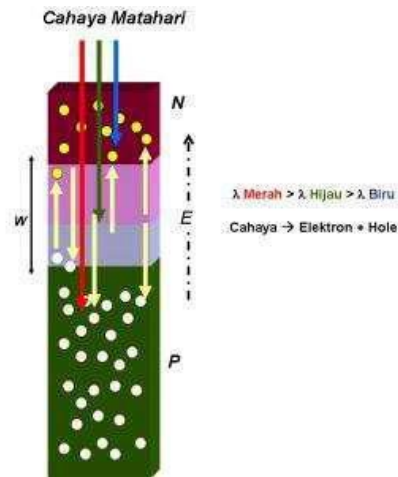
Pada sambungan p-n inilah proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi. Untuk keperluan sel surya, semikonduktor n berada pada lapisan atas sambungan p yang menghadap ke arah datangnya cahaya matahari, dan dibuat jauh lebih tipis dari semikonduktor p, sehingga cahaya matahari yang jatuh ke permukaan sel surya dapat terus terserap dan masuk ke daerah deplesi dan semikonduktor p.



**Gambar 2.10** Sambungan Semikonduktor Terkena Cahaya Matahari

Ketika sambungan semikonduktor ini terkena cahaya matahari, maka elektron mendapat energi dari cahaya matahari untuk melepaskan dirinya dari semikonduktor n, daerah deplesi maupun semikonduktor. Terlepasnya elektron ini meninggalkan *hole* pada daerah yang

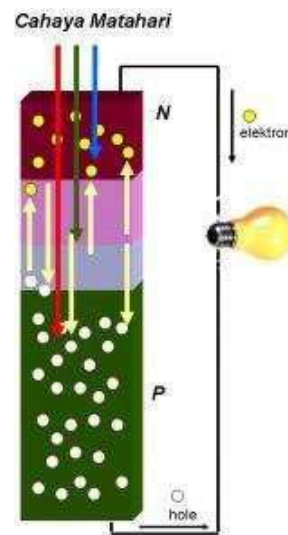
ditinggalkan oleh elektron yang disebut dengan fotogenerasi electron hole yakni, terbentuknya pasangan elektron dan *hole* akibat cahaya matahari.



**Gambar 2.11** Sambungan Semikonduktor Ditembus Cahaya Matahari

Cahaya matahari dengan panjang gelombang (dilambangkan dengan simbol “lamda” sebagian di gambar atas) yang berbeda, membuat fotogenerasi pada sambungan pn berada pada bagian sambungan pn yang berbeda pula. Spektrum merah dari cahaya matahari yang memiliki panjang gelombang lebih panjang, mampu menembus daerah deplesi hingga terserap di semikonduktor p yang akhirnya menghasilkan proses fotogenerasi di sana. Spektrum biru dengan panjang gelombang yang jauh lebih pendek hanya terserap di daerah semikonduktor n.

Selanjutnya, dikarenakan pada sambungan pn terdapat medan listrik  $E$ , elektron hasil fotogenerasi tertarik ke arah semikonduktor  $n$ , begitu pula dengan *hole* yang tertarik ke arah semikonduktor  $p$ . Apabila rangkaian kabel dihubungkan ke dua bagian semikonduktor, maka elektron akan mengalir melalui kabel. Jika sebuah lampu kecil dihubungkan ke kabel, lampu tersebut menyala dikarenakan mendapat arus listrik, dimana arus listrik ini timbul akibat pergerakan elektron.



**Gambar 2.12** Kabel Dari Sambungan Semikonduktor

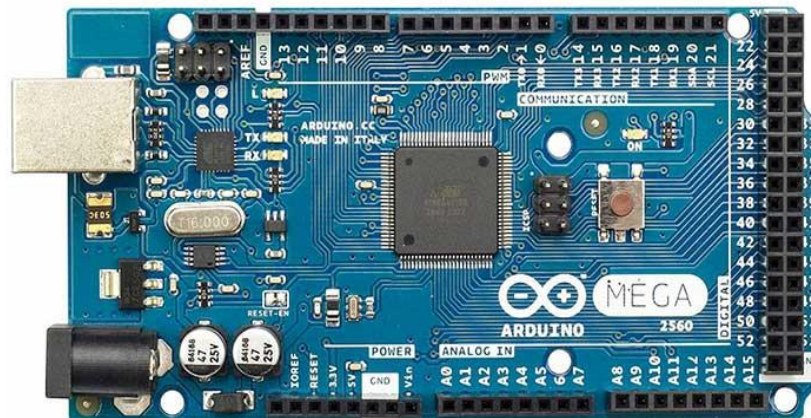
Dihubungkan Ke Lampu

### 2.3 *Arduino Mega 2560*

Menurut Massimo Banzi dalam bukunya "*Getting Started with Arduino*", arduino didefinisikan sebagai sebuah platform komputasi fisik (physical Computing) yang open source, yang terdapat pada board input output sederhana. Platform komputasi fisik sendiri mempunyai makna yang berarti sebuah sistem fisik yang interaktif dengan penggunaan software dan hardware yang dapat mendeteksi dan merespon situasi dan kondisi yang ada di dunia nyata.

Arduino Mega 2560 adalah papan pengembangan mikrokontroler yang berbasis Arduino dengan menggunakan chip ATmega2560. Board ini memiliki pin I/O yang cukup banyak, sejumlah 54 buah digital I/O pin (15 pin diantaranya adalah PWM), 16 pin analog input, 4 pin UART (serial port hardware). Arduino Mega 2560 dilengkapi dengan sebuah oscillator 16 Mhz, sebuah port USB, power jack DC, ICSP header, dan tombol reset. Board ini sudah sangat lengkap, sudah memiliki segala sesuatu yang dibutuhkan untuk sebuah mikrokontroler. Dengan penggunaan yang cukup sederhana, anda tinggal menghubungkan power dari USB ke PC anda atau melalui adaptor AC/DC ke jack DC. <sup>[10]</sup>

Pin-pin tersebut berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler; hanya terhubung ke komputer dengan kabel USB atau sumber tegangan bisa didapat dari adaptor AC-DC atau baterai untuk memulai.



**Gambar 2.13** *Arduino Mega 2560* [11]

*Board Arduino* dapat mengambil daya dari koneksi USB pada komputer dengan menggunakan USB charger atau mengambil daya dengan menggunakan suatu catu daya eksternal AC-DC adaptor atau baterai untuk mengaktifkannya. Adaptor ini dapat dihubungkan dengan cara menghubungkan steker 2.1 mm ke dalam board stopkontak. Lead dari baterai dapat dimasukkan ke dalam header pin Gnd dan Vin dari konektor Power. [12]

Board *Arduino* dapat beroperasi menggunakan supply eksternal sebesar 6 sampai 20 volt. Jika tegangan supply kurang dari 7V, kadangkala pin 5V akan menyuplai kurang dari 5 volt dan board menjadi tidak stabil. Jika menggunakan lebih dari 12 volt, tegangan pada regulator

bisa menjadi panas dan menyebabkan kerusakan. Rentang tegangan yang

dianjurkan berkisar pada 7-12 volt.

Pin catu daya adalah sebagai berikut:

- a) VIN. Tegangan input ke papan *Arduino* ketika menggunakan supply daya eksternal (seperti yang disebutkan 5 volt dari koneksi USB atau sumber daya lainnya yang diatur). Tegangan yang akan diberikan dapat melalui pin ini, atau, jika tegangan suplai menggunakan colokan listrik, mengaksesnya melalui pin ini.
- b) 5V. Pin output ini merupakan tegangan 5 volt yang diatur dari regulator pada board. Board dapat disuplai dengan salah satu suplai dari DC power jack (7-12V), USB connector (5V), atau pin VIN dari board (7-12V).
- c) 3V3. Sebuah pasokan 3,3 volt yang dihasilkan oleh chip FTDI on-board. Arus maksimum yang dapat dilalui adalah 50 mA.
- d) GND. Pin ground.

### **2.3.1 Memory**

*Atmega328* memiliki memori sebesar 256 KB (8 KB dari memori tersebut digunakan untuk bootloader) dan juga memiliki memori sebesar 8 KB dari SRAM dan 4 KB dari EEPROM.

### 2.3.2 Input dan Output

Arduino Mega 2560 memiliki jumlah pin terbanyak dari semua papan pengembangan Arduino. Mega 2560 memiliki 54 buah digital pin yang dapat digunakan sebagai input atau output, dengan menggunakan fungsi `pinMode()`, `digitalWrite()`, dan `digitalRead()`. Pin-pin tersebut bekerja pada tegangan 5V, dan setiap pin dapat menyediakan atau menerima arus sebesar 20mA, dan memiliki tahanan pull-up sekitar 20-50k ohm (secara default dalam posisi disconnect). Nilai maximum adalah 40mA, yang sebisa mungkin dihindari untuk menghindari kerusakan chip mikrokontroler

Beberapa pin memiliki fungsi khusus :

- **Serial**, memiliki 4 serial yang masing-masing terdiri dari 2 pin. Serial 0 : pin 0 (RX) dan pin 1 (TX). Serial 1 : pin 19 (RX) dan pin 18 (TX). Serial 2 : pin 17 (RX) dan pin 16 (TX). Serial 3 : pin 15 (RX) dan pin 14 (TX). RX digunakan untuk menerima dan TX untuk transmit data serial TTL. Pin 0 dan pin 1 adalah pin yang digunakan oleh chip USB-to-TTL ATmega16U2
- **External Interrupts**, yaitu pin 2 (untuk interrupt 0), pin 3 (interrupt 1), pin 18 (interrupt 5), pin 19 (interrupt 4), pin 20 (interrupt 3), dan pin 21 (interrupt 2). Dengan demikian Arduino Mega 2560 memiliki jumlah interrupt yang cukup melimpah : 6 buah. Gunakan fungsi `attachInterrupt()` untuk mengatur interrupt tersebut.

- **PWM:** Pin 2 hingga 13 dan 44 hingga 46, yang menyediakan output PWM 8-bit dengan menggunakan fungsi `analogWrite()`
- **SPI :** Pin 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), dan 53 (SS) mendukung komunikasi SPI dengan menggunakan SPI Library
- **LED :** Pin 13. Pada pin 13 terhubung built-in led yang dikendalikan oleh digital pin no 13. Set HIGH untuk menyalakan led, LOW untuk memadamkan nya.
- **TWI :** Pin 20 (SDA) dan pin 21 (SCL) yang mendukung komunikasi TWI dengan menggunakan Wire Library

Arduino Mega 2560 R3 memiliki 16 buah input analog. Masing-masing pin analog tersebut memiliki resolusi 10 bits (jadi bisa memiliki 1024 nilai). Secara default, pin-pin tersebut diukur dari ground ke 5V, namun bisa juga menggunakan pin AREF dengan menggunakan fungsi `analogReference()`. Beberapa in lainnya pada board ini adalah :

- **AREF.** Sebagai referensi tegangan untuk input analog.
- **Reset.** Hubungkan ke LOW untuk melakukan reset terhadap mikrokontroller. Sama dengan penggunaan tombol reset yang tersedia.

### 2.3.3 Komunikasi

Arduino Mega 2560 memiliki beberapa fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, berkomunikasi dengan Arduino lainnya, atau dengan mikrokontroler lainnya. Chip Atmega2560 menyediakan komunikasi serial UART TTL (5V) yang tersedia di pin 0 (RX) dan pin 1 (TX). Chip ATmega16U2 yang terdapat pada board berfungsi menterjemahkan bentuk komunikasi ini melalui USB dan akan tampil sebagai Virtual Port di komputer. Firmware 16U2 menggunakan driver USB standar sehingga tidak membutuhkan driver tambahan.

Pada Arduino Software (IDE) terdapat monitor serial yang memudahkan data textual untuk dikirim menuju Arduino atau keluar dari Arduino. Led TX dan RX akan menyala berkedip-kedip ketika ada data yang ditransmisikan melalui chip USB to Serial via kabel USB ke komputer. Untuk menggunakan komunikasi serial dari digital pin, gunakan SoftwareSerial library

Chip ATmega2560 juga mendukung komunikasi I2C (TWI) dan SPI. Di dalam Arduino Software (IDE) sudah termasuk Wire Library untuk memudahkan anda menggunakan bus I2C. Untuk menggunakan komunikasi SPI, gunakan SPI library.

### **2.3.4 Pemrograman**

Arduino Mega 2560 dapat diprogram dengan software Arduin. Untuk rincian, lihat referensi dan tutorial .

Atmega2560 pada Arduino mega hadir dengan sebuah bootloader yang memungkinkan kita untuk mengupload kode baru ke Atmega2560 tanpa menggunakan pemrogram hardware eksternal. Atmega2560 berkomunikasi menggunakan protokol dari bahasa C.

Anda juga dapat memotong bootloader dan program mikrokontroler melalui ICSP (In-Circuit Serial Programming)

### **2.3.5 Karakteristik fisik dan Perisai Kompatibilitas**

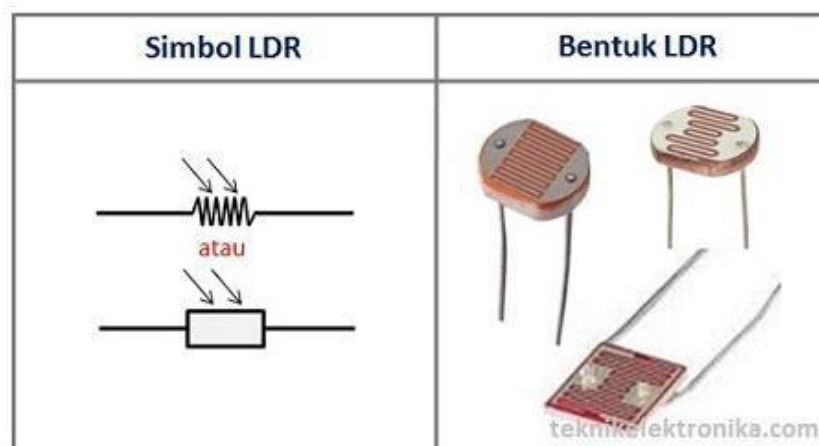
Panjang dan lebar maksimum dari PCB Arduino Mega 2560 masing-masingnya adalah 101.5 mm x 53.4 mm dengan konektor USB dan power jack yang memperluas dimensinya. Empat lubang sekrup memungkinkan board untuk dipasangkan ke sebuah permukaan atau kotak. Sebagai catatan, bahwa jarak antara pin digital 7 dan 8 adalah 160 mil. (0,16”), bukan sebuah kelipatan genap dari jarak 100 mil dari pin lainnya.



<input type="checkbox"/> Microcontroller	ATmega2560
<input type="checkbox"/> Operating Voltage	5V
<input type="checkbox"/> Input Voltage (recommended)	7-12V
<input type="checkbox"/> Input Voltage (limits)	6-20V
<input type="checkbox"/> Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
<input type="checkbox"/> Analog Input Pins	16
<input type="checkbox"/> DC Current per I/O Pin	20 mA
<input type="checkbox"/> DC Current for 3.3V Pin	50 mA
<input type="checkbox"/> Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
<input type="checkbox"/> SRAM	8 KB
<input type="checkbox"/> EEPROM	4 KB
<input type="checkbox"/> Clock Speed	16 MHz

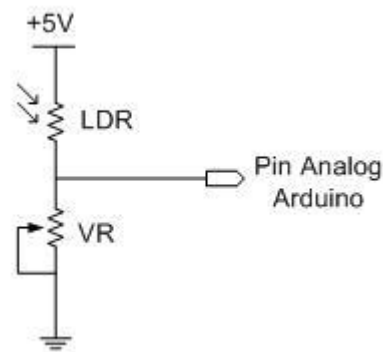
**Gambar 2.14** Spesifikasi *Arduino Mega 2560*

## 2.4 Sensor Cahaya LDR



**Gambar 2.15** Simbol dan Bentuk dari Sensor LDR

*Light Dependent Resistor* atau disingkat dengan LDR adalah jenis Resistor yang nilai hambatan atau nilai resistansinya tergantung pada intensitas cahaya yang diterimanya. Nilai Hambatan LDR akan menurun pada saat cahaya terang dan nilai Hambatannya akan menjadi tinggi jika dalam kondisi gelap. Dengan kata lain, fungsi LDR (*Light Dependent Resistor*) adalah untuk menghantarkan arus listrik jika menerima sejumlah intensitas cahaya (Kondisi Terang) dan menghambat arus listrik dalam kondisi gelap.



**Gambar 2.16** Rangkaian Sensor LDR

#### 2.4.1 Prinsip Kerja Rangkaian Sensor LDR

Ketika keadaan ruangan terang, resistansi pada LDR sangat kecil, bahkan lebih kecil dibandingkan dengan resistor yang kita pakai (100Kohm). Arus mempunyai karakteristik dominan mengalir pada hambatan yang kecil dibandingkan hambatan yang besar. Analoginya seperti arus yang lebih deras mengalir pada sungai dengan batuan kerikil dibandingkan sungai dengan batuan besar. Sehingga, arus akan dominan mengalir melewati LDR,

sedangkan arus pada resistor 100Kohm (kaki collector) sangat kecil bahkan dianggap nol. Pada kondisi inilah transistor bekerja di daerah *cut off* (bekerja sebagai saklar terbuka). Oleh karena itu tidak ada arus yang melewati LED sehingga LED tidak menyala.

Berbeda jika pada keadaan ruangan gelap, Resistansi pada LDR akan sangat besar, sehingga tidak akan ada arus yang bisa mengalir melewatinya. Pada kondisi ini, rangkaian yang tersambung dengan LDR bisa kita anggap terputus dan tegangan diantara kaki collector dan emitter ( $V_{ce} = 0$ ), jadi arus dari catuan ( $V_{cc}$ ) sepenuhnya mengalir melewati resistor 100 ohm (kaki collector) dan langsung ke LED sehingga bisa menyala. Pada kondisi ini transistor bekerja di daerah saturasi (bekerja sebagai saklar tertutup).

## 2.5 Motor Stepper

Motor stepper adalah salah satu jenis motor dc yang dikendalikan dengan pulsa-pulsa digital. *Prinsip kerja motor stepper* adalah bekerja dengan mengubah pulsa elektronis menjadi gerakan mekanis diskrit dimana motor stepper bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor stepper tersebut.

Kelebihan Motor Stepper

Kelebihan motor stepper dibandingkan dengan motor DC biasa adalah :

1. Sudut rotasi motor proporsional dengan pulsa masukan sehingga lebih mudah diatur.

2. Motor dapat langsung memberikan torsi penuh pada saat mulai bergerak
3. Posisi dan pergerakan repetisinya dapat ditentukan secara presisi
4. Memiliki respon yang sangat baik terhadap mulai, stop dan berbalik (perputaran)
5. Sangat realibel karena tidak adanya sikat yang bersentuhan dengan rotor seperti pada motor DC
6. Dapat menghasilkan perputaran yang lambat sehingga beban dapat dikopel langsung ke porosnya
7. Frekuensi perputaran dapat ditentukan secara bebas dan mudah pada range yang luas.

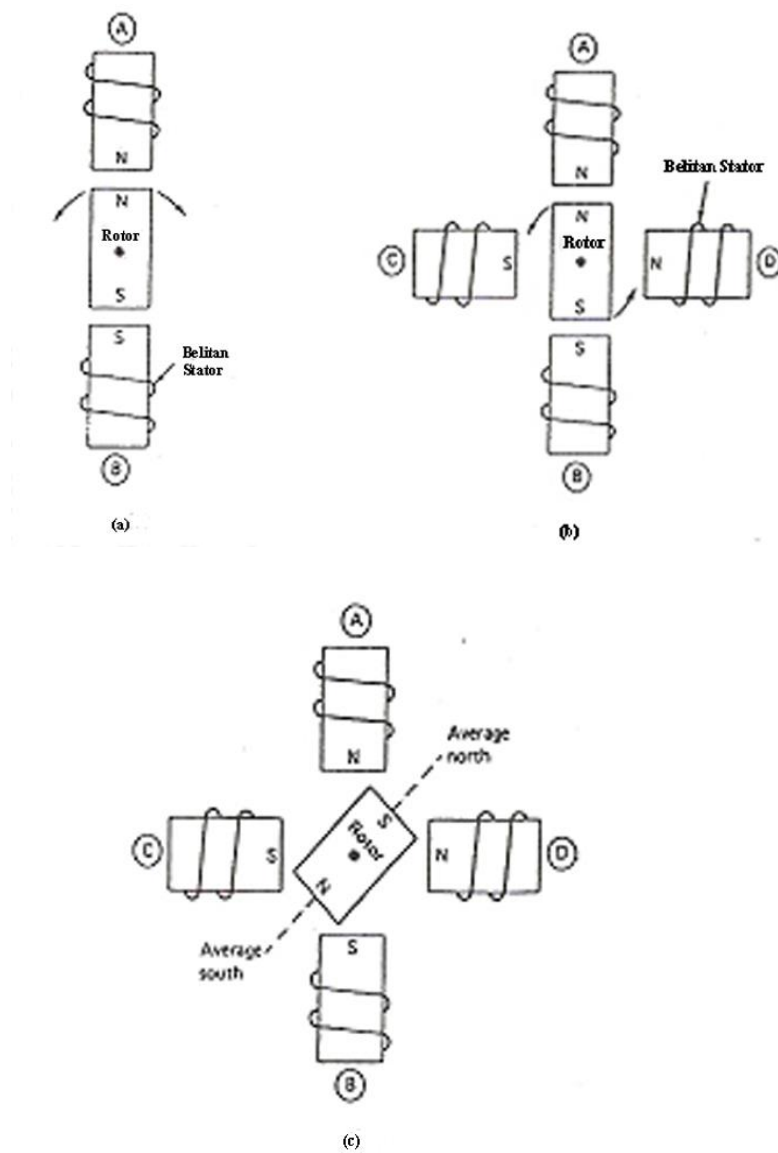
### **2.5.1 Prinsip Kerja Motor Stepper**

Prinsip kerja motor stepper adalah mengubah pulsa-pulsa input menjadi gerakan mekanis diskrit. Oleh karena itu untuk menggerakkan motor stepper diperlukan pengendali motor stepper yang membangkitkan pulsa-pulsa periodik.

Prinsip kerja motor stepper mirip dengan motor DC, sama-sama dicatu dengan tegangan DC untuk memperoleh medan magnet. Bila motor DC memiliki magnet tetap pada stator, motor stepper mempunyai magnet tetap pada rotor. Motor stepper dinyatakan dengan spesifikasi : “berapa fasa “, “berapa derajat perstep”, “berapa volt tegangan catu untuk tiap lilitan” dan ”berapa ampere/miliampere arus yang dibutuhkan untuk tiap lilitan”. Motor stepper tidak dapat bergerak sendirinya, tetapi bergerak secara per-

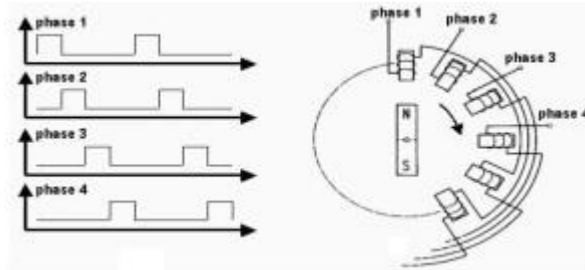
step sesuai dengan spesifikasinya, dan bergerak dari satu step ke step berikutnya memerlukan waktu, serta menghasilkan torsi yang besar pada kecepatan rendah. Motor stepper juga memiliki karakteristik yang lain yaitu torsi penahan, yang memungkinkan menahan posisinya. Hal ini sangat berguna untuk aplikasi dimana suatu sistem memerlukan keadaan start dan stop (Trianto, 2005).

Torsi motor stepper tidak sebesar motor DC, namun motor ini mempunyai tingkat presisi yang sangat tinggi dalam gerakannya. Kecepatan gerak motor ini dinyatakan dalam step per second atau jumlah step gerakan dalam setiap detiknya. Cara kerja motor stepper didasari dengan prinsip magnet dasar, seperti kutub magnet yaitu sebagai berikut : Jika lilitan stator pada gambar 1 (a) diberi energi maka lilitan stator A adalah kutub selatan, stator B adalah kutub utara, dan rotor permanent magnet (PM) diposisikan seperti pada gambar, maka torsi motor akan bertambah seiring pergerakan rotor ke sudut  $180^0$ . Maka hal tersebut akan menjadi tidak mungkin untuk menentukan arah dari putaran dan dalam rotor tidak akan bergerak seperti yang telah dikatakan tadi jika gayanya stabil. Jika yang terjadi seperti dalam gambar 1 (b), dua kutub stator tambahan C dan D dipasang dan diberi energi seperti terlihat dalam gambar, kita bisa memprediksi arah dari putaran rotor. Seperti dalam gambar 1(b) arah putaran rotor akan konstan searah jarum jam dengan rotor sejajar dengannya antara "rata-rata" kutub selatan dan "rata-rata" kutub utara. Seperti diperlihatkan dalam gambar 1(c).



**Gambar 2.17** Cara kerja motor stepper yang didasari dari prinsip magnet dasar

Berikut ini adalah ilustrasi struktur motor stepper sederhana dan pulsa yang dibutuhkan untuk menggerakkannya :



**Gambar 2.18** Prinsip Kerja Motor Stepper

Gambar diatas memberikan ilustrasi dari pulsa keluaran pengendali motor stepper dan penerpan pulsa tersebut pada motor stepper untuk menghasilkan arah putaran yang bersesuaian dengan pulsa kendali.

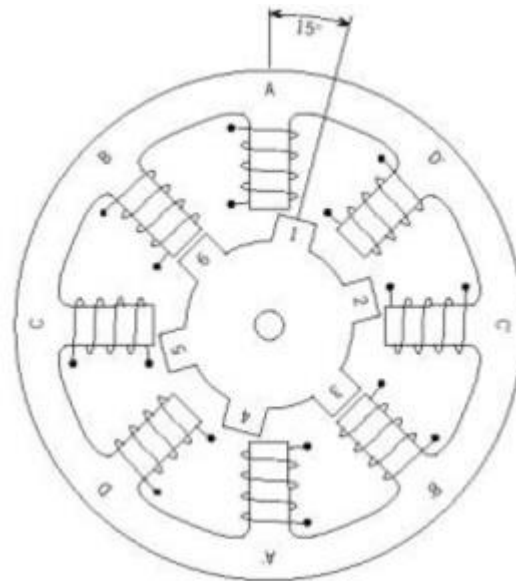
## 2.5.2 Jenis-Jenis Motor Stepper

Berdasarkan struktur rotor dan stator pada motor stepper, maka motor stepper dapat dikategorikan dalam 3 jenis sebagai berikut :

### 2.5.2.1 Motor Stepper Variable Reluctance (VR)

Motor stepper jenis ini telah lama ada dan merupakan jenis motor yang secara struktural paling mudah untuk dipahami. Motor ini terdiri atas sebuah rotor besi lunak dengan beberapa gerigi dan sebuah lilitan stator. Ketika lilitan stator diberi energi dengan arus DC, kutub-kutubnya menjadi termagnetasi. Perputaran terjadi ketika gigi-gigi rotor tertarik oleh kutub-kutub stator. Berikut ini

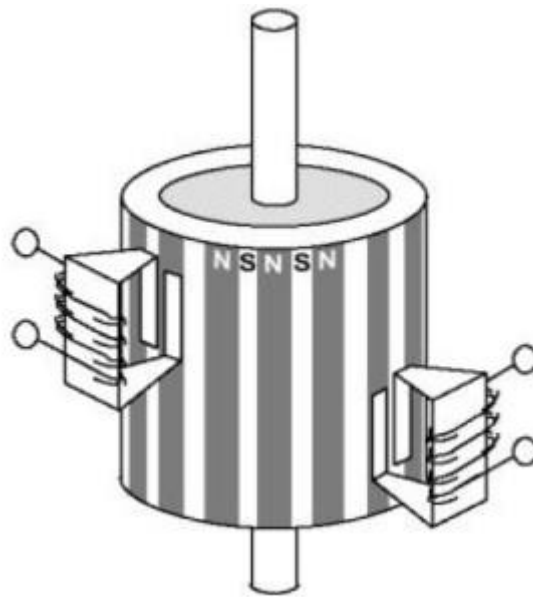
adalah penampang melintang dari motor stepper tipe variable reluctance (VR):



**Gambar 2.19** Motor stepper tipe variable reluctance (VR)

#### 2.5.2.2 Motor Stepper Permanent Magnet (PM)

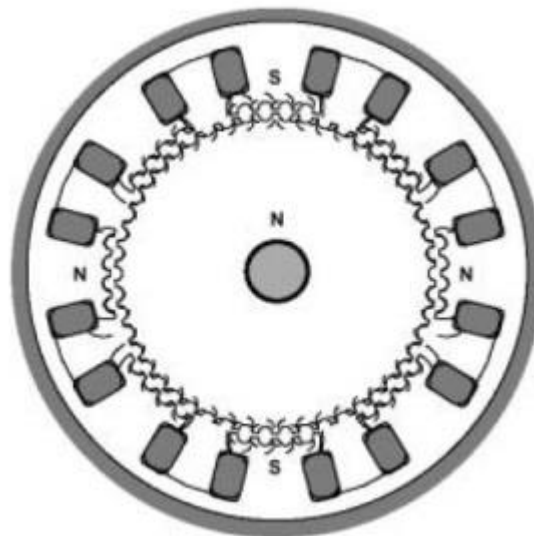
Motor stepper jenis ini memiliki rotor yang berbentuk seperti kaleng bundar (tin can) yang terdiri atas lapisan magnet permanen yang diselang-seling dengan kutub yang berlawanan. Dengan adanya magnet permanen, maka intensitas fluks magnet dalam motor ini akan meningkat sehingga dapat menghasilkan torsi yang lebih besar. Motor jenis ini biasanya memiliki resolusi langkah (step) yang rendah yaitu antara  $7,5^0$  hingga  $15^0$  per langkah atau 48 hingga 24 langkah setiap putarannya. Berikut ini adalah ilustrasi sederhana dari motor stepper tipe permanent magnet :



**Gambar 2.20** Motor stepper tipe permanent magnet (PM)

#### 2.5.2.3 Motor Stepper Hybrid (HB)

Motor stepper tipe hibrid memiliki struktur yang merupakan kombinasi dari kedua tipe motor stepper sebelumnya. Motor stepper tipe hibrid memiliki gigi-gigi seperti pada motor tipe VR dan juga memiliki magnet permanen yang tersusun secara aksial pada batang porosnya seperti motor tipe PM. Motor tipe ini paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi karena kinerja lebih baik. Motor tipe hibrid dapat menghasilkan resolusi langkah yang tinggi yaitu antara  $3,6^0$  hingga  $0,9^0$  per langkah atau 100-400 langkah setiap putarannya. Berikut ini adalah penampang melintang dari motor stepper tipe hibrid :

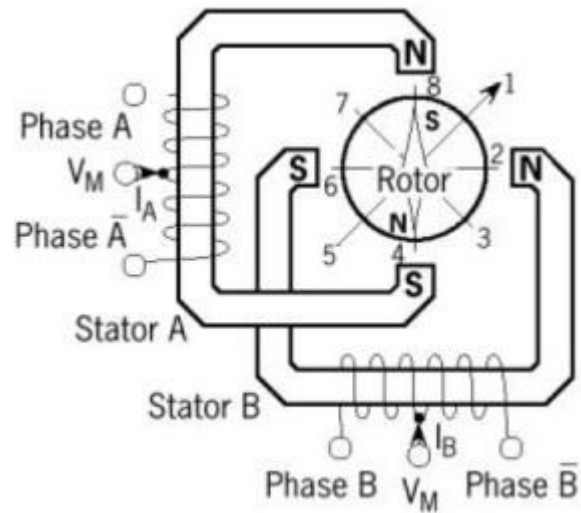


**Gambar 2.21** Motor stepper tipe hybrid

Berdasarkan metode perancangan rangkain pengendalinya, motor stepper dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu motor stepper unipolar dan motor stepper bipolar.

#### 2.5.4.4 Motor Stepper Unipolar

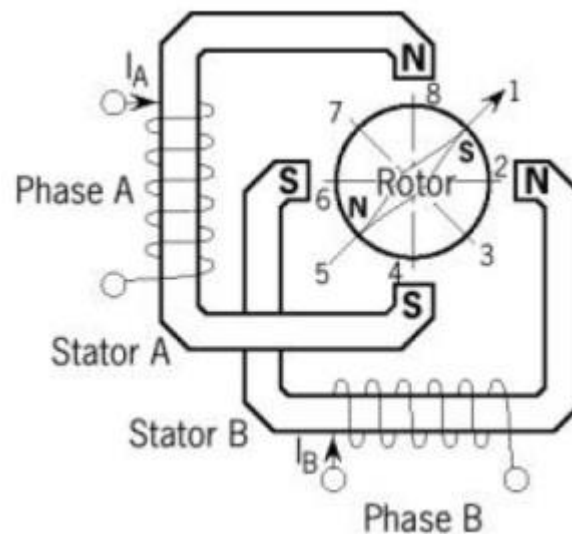
Rangkaian pengendali motor stepper unipolar lebih mudah dirancang karena hanya memerlukan satu switch / transistor setiap lilitannya. Untuk menjalankan dan menghentikan motor ini cukup dengan menerapkan pulsa digital yang hanya terdiri atas tegangan positif dan nol (ground) pada salah satu terminal lilitan (wound) motor sementara terminal lainnya dicatu dengan tegangan positif konstan (VM) pada bagian tengah (center tap) dari lilitan seperti pada gambar berikut.



**Gambar 2.22** Motor stepper dengan lilitan unipolar

#### 2.5.4.5 Motor Stepper Bipolar

Untuk motor stepper dengan lilitan bipolar, diperlukan sinyal pulsa yang berubah-ubah dari positif ke negatif dan sebaliknya. Jadi pada setiap terminal lilitan (A & B) harus dihubungkan dengan sinyal yang mengayun dari positif ke negatif dan sebaliknya. Karena itu dibutuhkan rangkaian pengendali yang agak lebih kompleks daripada rangkaian pengendali untuk motor unipolar. Motor stepper bipolar memiliki keunggulan dibandingkan dengan motor stepper unipolar dalam hal torsi yang lebih besar untuk ukuran yang sama.



**Gambar 2.23** *Motor stepper* dengan lilitan bipolar

Motor stepper tidak merespon sinyal clock dan mempunyai beberapa lilitan dimana lilitan-lilitan tersebut harus dicatu (tegangan) dahulu dengan suatu urutan tertentu agar dapat berotasi. Membalik urutan pemberian tegangan tersebut akan menyebabkan putaran motor stepper yang berbalik arah. Jika sinyal kontrol tidak terkirim sesuai dengan perintah maka motor stepper tidak akan berputar secara tepat, mungkin hanya akan bergetar dan tidak bergerak. Untuk mengontrol motor stepper digunakan suatu rangkaian driver yang menangani kebutuhan arus dan tegangan (Trianto, 2005).

Karakteristik dari motor stepper menurut Trianto adalah sebagai berikut:

a. Tegangan

Tiap motor stepper mempunyai tegangan rata-rata yang tertulis pada tiap unitnya atau tercantum pada datasheet masing-masing motor stepper. Tegangan rata-rata ini harus diperhatikan dengan seksama karena bila melebihi dari tegangan rata-rata ini akan menimbulkan panas yang menyebabkan kinerja putarannya tidak maksimal atau bahkan motor stepper akan rusak dengan sendirinya.

b. Resistansi

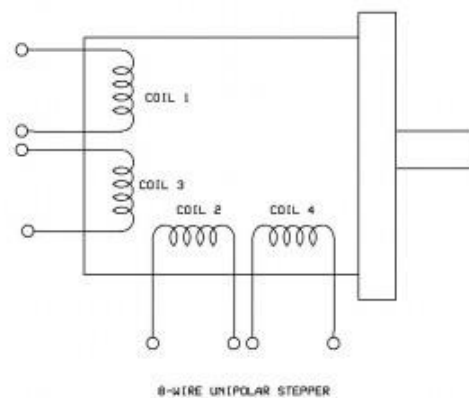
Resistansi per lilitan adalah karakteristik yang lain dari motor stepper. Resistansi ini akan menentukan arus yang mengalir, selain itu juga akan mempengaruhi torsi dan kecepatan maksimum dan motor stepper.

c. Derajat per step

Derajat per step adalah faktor terpenting dalam pemilihan motor stepper sesuai dengan aplikasinya. Tiap-tiap motor stepper mempunyai spesifikasi masing-masing, antara lain:  $0.72^\circ$  per step,  $1.8^\circ$  per step,  $3.6^\circ$  per step,  $7.5^\circ$  per step,  $15^\circ$  per step, dan bahkan ada yang  $90^\circ$  per step. Dalam pengoperasiannya kita dapat menggunakan 2 prinsip yaitu full step atau half step. Dengan full step berarti motor stepper berputar sesuai dengan spesifikasi derajat per stepnya, sedangkan half step berarti motor stepper berputar setengah derajat per step dari spesifikasi motor stepper tersebut.

Motor stepper dibedakan menjadi dua kategori besar yaitu: magnet permanen dan reluktansi variabel. Tipe magnet permanen terbagi menjadi dua motor stepper yaitu motor stepper unipolar dan bipolar. Motor stepper unipolar sangat mudah untuk dikontrol dengan menggunakan rangkaian counter '-n'. Motor stepper unipolar mempunyai karakteristik khusus yaitu berupa lilitan center-tapped dan 1 lilitan sebagai common. Lilitan common akan mencatu tegangan pada center-tapped dan sebagai ground adalah rangkaian drivernya.

Motor stepper unipolar dapat dikenali dengan mengetahui adanya lilitan center-tapped. Jumlah phase dan motor stepper adalah dua kali dan jumlah koilnya. Umumnya pada motor stepper unipolar terdapat dua buah koil (Trianto, 2005).



**Gambar 2.24** Susunan koil motor stepper unipolar

Pada prinsipnya ada dua macam cara kerja motor stepper unipolar, yaitu full-step dan half-step. Terlihat pada Tabel 2.3. dan Tabel 2.4.

**Tabel 2.1** Pemberian tegangan untuk operasi full-step

FULLSTEP								
Tegangan yang diberikan pada lilitan								
Arah putar searah jarum jam					Arah putar melawan jarum jam			
	L3	L2	L1	L0	L3	L2	L1	L0
1	1	0	0	0	0	0	0	1
2	0	1	0	0	0	0	1	0
3	0	0	1	0	0	1	0	0
4	0	0	0	1	1	0	0	0

Pada full step, suatu titik pada sebuah kutub magnet di rotor akan kembali mendapat tarikan medan magnet stator pada lilitan yang sama setelah step ke 4., dan berikutnya dapat diberikan lagi mulai dari step 1. Setiap step, rotor bergerak searah atau berlawanan dengan jarum jam sebesar spesifikasi derajat per step dan motor stepper. Setiap step hanya menarik sebuah kutub saja. Tegangan '1' adalah menunjukkan logika dalam level Transistor Transistor Logic (TTL). Besar tegangan sesungguhnya diatur dengan

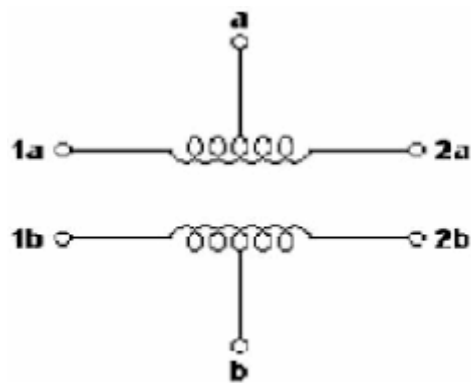
spesifikasi motor stepper yang dipakai, misalnya dengan menggunakan buffer.

**Tabel 2.2** Pemberian tegangan untuk operasi half-step

HALFSTEP								
Tegangan yang diberikan pada lilitan								
Arah putar searah jarum jam				Arah putar melawan jarum jam				
	L3	L2	L1	L0	L3	L2	L1	L0
1	1	0	0	0	0	0	0	1
2	1	1	0	0	0	0	1	1
3	0	1	0	0	0	0	1	0
4	0	1	1	0	1	1	1	0
5	0	0	1	0	1	1	0	0
6	0	0	1	1	1	1	0	0
7	0	0	0	1	0	0	0	0
8	1	0	0	1	0	0	0	1

Untuk half step, setiap kutub magnet pada rotor akan kembali mendapatkan tarikan dan medan magnet lilitan yang sama setelah step ke 8. berikutnya kembali mulai step 1. Setiap step posisi rotor berubah sebesar setengah derajat dan spesifikasi derajat per step motor stepper.

Berbeda dengan motor stepper unipolar, motor stepper bipolar sangat sulit dalam pengontrolannya. Motor stepper jenis ini memerlukan rangkaian driver yang kompleks. Keuntungan motor stepper bipolar adalah ukurannya yang besar dan dapat menghasilkan torsi yang besar daripada motor stepper unipolar. Motor stepper bipolar di desain dengan koil yang terpisah yang akan di catu dan dua arah (polaritas harus dibalik selama pencatuan). Motor stepper bipolar menggunakan logika yang sama seperti motor stepper unipolar yaitu hanya '0' dan '1' untuk merespon koilnya

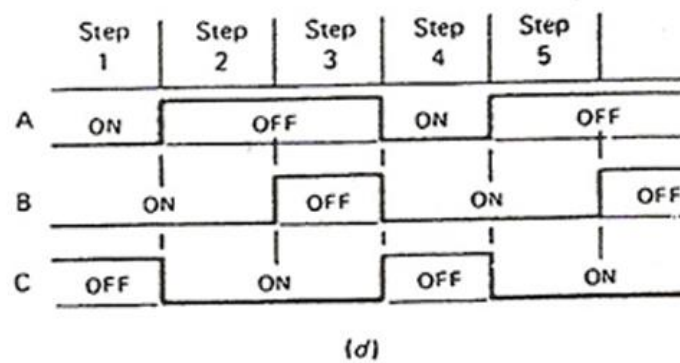


Gambar 2.25 . Susunan koil motor stepper bipolar

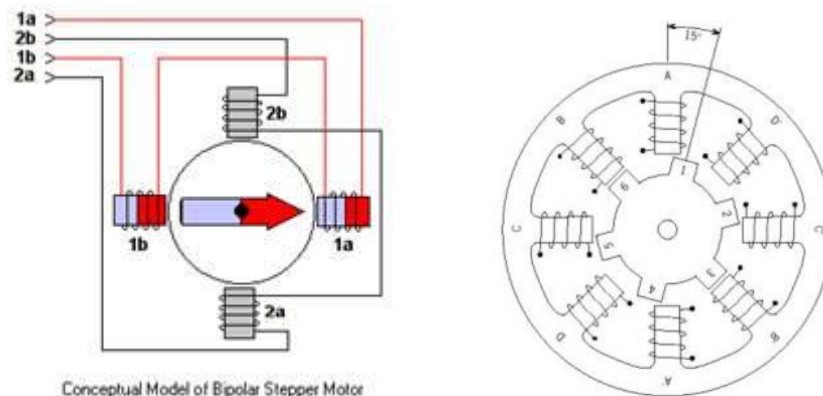
	Index	1a	1b	2a	2b
Clockwise Rotation →	1	1	0	0	0
	2	0	1	0	0
	3	0	0	1	0
	4	0	0	0	1
	5	1	0	0	0
	6	0	1	0	0
	7	0	0	1	0
	8	0	0	0	1

Tabel 2.3 Pola phase putaran motor stepper bipolar

Reluktansi variabel motor stepper, juga sering disebut sebagai motor hibrid. Motor stepper jenis ini mudah dikontrol jika dibandingkan dengan jenis motor stepper yang lain. Rangkaian driver untuk mencatu tiap-tiap lilitannya sangatlah sederhana. Prinsip kerjanya adalah driver mencatu tiap lilitan secara bergantian. Jika diputar dengan tangan, terlihat motor ini seperti motor DC, berputar sangat bebas dan tidak terasa adanya step. Motor stepper jenis ini tidak memiliki magnet permanen seperti pada motor stepper unipolar dan bipolar (Trianto, 2005).



**Tabel 2.4** Pola 1-phase reluktansi variable motor stepper



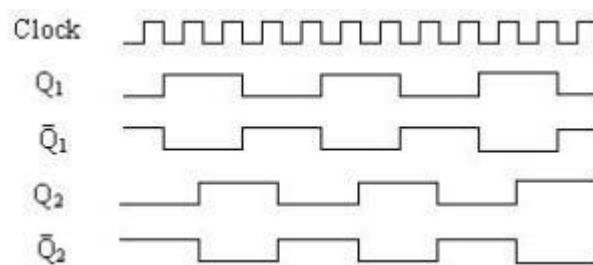
**Gambar 2.26.** Susunan koil reluktansi variable motor stepper

### 2.5.6 Driver Motor Stepper

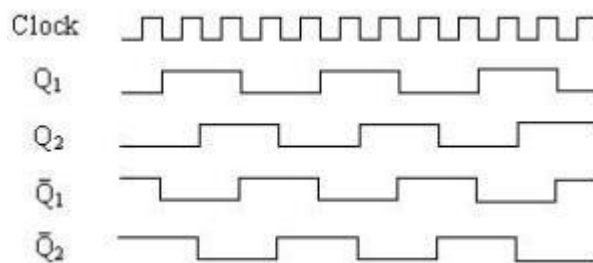
Secara teoritis, sebuah motor stepper dapat digerakkan langsung oleh mikrokontroler (Trianto, 2005). Dalam kenyataannya, arus dan tegangan yang dikeluarkan oleh mikrokontroler terlalu kecil untuk menggerakkan sebuah motor stepper. Gerbang-gerbang Transistor Transistor Logic (TTL) mikrokontroler hanya mampu mengeluarkan arus dalam orde mili-ampere dan tegangan antara 2 sampai 2,5 Volt. Sementara itu untuk menggerakkan motor stepper diperlukan arus yang lebih besar (dalam orde ampere) dan tegangan berkisar 5 sampai 24 Volt. Untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan sebuah piranti tambahan yang memenuhi kebutuhan arus dan tegangan yang cukup besar.

Untuk menggerakkan motor stepper berbeda dengan menggerakkan motor dc, dimana untuk menggerakkan motor stepper diperlukan

rangkaian driver yang fungsinya untuk memberikan catu ke motor stepper. Driver tidak hanya mengeluarkan tegangan, namun tegangan yang dikeluarkan juga harus dalam bentuk pulsa. Karena motor stepper bergerak step by step sesuai dengan pulsa. Bentuk pulsa yang dikeluarkan oleh driver dapat dilihat pada Gambar 14 dan gambar 15.



**Gambar 2.27.** Pulsa Driver Bipolar mode Full Step



**Gambar 2.38** Pulsa Driver Unipolar mode Full Step

Bentuk pulsa seperti gambar 14 dan 15 harus dapat dikeluarkan oleh driver sebagai syarat untuk dapat menggerakkan motor stepper. tinggi pulsa yang dikeluarkan juga harus sesuai dengan spesifikasi tegangan motor stepper yaitu kisaran 5 sampai 36 volt. Pada gambar 14 dan 15 sebenarnya memiliki bentuk yang sama hanya saja susunannya berbeda. pada gambar 14 adalah susunan pulsa untuk menggerakkan motor stepper tipe bipolar, sedangkan pada

gambar 15 adalah susunan pulsa untuk menggerakkan motor stepper tipe unipolar.

Driver untuk motor stepper unipolar lebih sederhana dari driver tipe bipolar karena untuk motor stepper tipe unipolar driver cukup dengan dilalui arus satu arah saja sedangkan untuk tipe bipolar driver harus dapat dilalui oleh arus dengan dua arah. Dari alasan ini motor stepper tipe unipolar lebih banyak digunakan karena untuk menggerakannya lebih sederhana. Driver untuk motor stepper unipolar dapat menggunakan IC ULN2003, ULN2004 atau dapat juga dengan menggunakan transistor. Jika menggunakan transistor, maka transistor difungsikan sebagai saklar untuk menghubungkan motor stepper ke Vcc atau ke ground tergantung dari hubungan common motor stepper. Untuk menggerakkan motor stepper tipe bipolar dapat menggunakan IC L293, L297+L298, PBL3717 atau menggunakan transistor yang dibuat rangkaian push pull.

Driver dapat menggunakan empat masukan langsung atau hanya dengan dua masukan saja. Jika menggunakan empat masukan secara langsung maka driver berfungsi untuk menguatkan sinyal tersebut. Namun jika menggunakan dua masukan saja maka masih diperlukan Translator (penerjemah) yang fungsinya

Rangkaian driver motor stepper merupakan rangkaian “open collector”, dimana output rangkaian ini terhubung dengan ground untuk mencatu lilitan-lilitan motor stepper.

Arus keluaran mikrokontroler tidak dapat menggerakkan motor stepper. Maka diperlukan driver untuk mencatu arus motor stepper. Di sini digunakan chip IC ULN2003 sebagai stepper motor driver. ULN2003 adalah sebuah IC yang berupa darlington array sebanyak 7 buah. Berikut ini adalah gambar IC ULN 2003.

ULN2003 mempunyai arus keluaran sampai 500 mA. Pada saat ketujuh driver tersebut ON, IC ini dapat mencatu daya sampai 230 W ( $350 \text{ mA} \times 95 \text{ V}$ ). ULN2003 mempunyai resistor input serial yang dapat dipilih untuk operasi TTL atau CMOS 5 V.

Motor stepper terdiri rotor dan stator yang bekerja berdasar sifat magnet, dimana magnet sejenis tolak menolak dan yang berlawanan tarik menarik. Kumparan pada stator membentuk medan magnet saat diberi arus, sehingga motor yang menggunakan magnet akan bergerak untuk mencari kestabilan agar kutub magnet bersesuaian dengan medan magnet yang terjadi. Arah putaran motor stepper ditentukan oleh arah urutan arus yang diberikan pada input motor stepper

Motor stepper mempunyai 4 input dan satu input tegangan. Motor stepper dapat berputar ke kiri maupun ke kanan sesuai dengan input yang diberikan. Untuk perputaran ke arah kiri dengan memberikan input ring counter dengan arah ke kiri dan untuk berputar ke kanan dengan memberikan input ring counter dengan arah ke kanan

Motor stepper bergerak setiap satu langkah dengan besar sudut  $1,8^\circ$  jadi untuk berputar satu putaran penuh membutuhkan 200 step. Dengan motor stepper kita dapat memutar motor sesuai dengan yang diinginkan. Kecepatan motor stepper juga dapat diubah sesuai dengan kebutuhan. Dengan mengubah waktu perpindahan dari suatu input ke input lain pada motor stepper.

Ada dua mode dalam menggerakkan motor stepper yaitu mode full step dan mode half step. Pada mode full step perputaran motor lebih kasar dibandingkan dengan mode half step. Ini dikarenakan pada mode half step untuk menggerakkan satu step dibutuhkan dua kondisi sehingga perputaran lebih halus, sedangkan pada mode full step torsiya lebih besar dibandingkan dengan mode half step. Berikut tabel input untuk mode full step dan mode half step

#### Mode full step

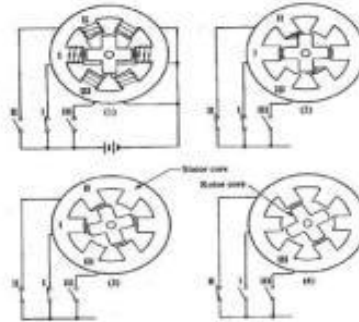
	Input 1	Input 2	Input 2	Input 4
NA	0	1	1	1
NB	1	0	1	1
NC	1	1	0	1
ND	1	1	1	0

	Input 1	Input 2	Input 3	Input 4
NA	0	1	1	1
NB	0	0	1	1
NC	1	0	1	1
ND	1	0	0	1
NA	1	1	0	1
NB	1	1	0	0
NC	1	1	1	0
ND	0	1	1	0

Table 2.5 input motor stepper

#### 2.5.4 Konstruksi Motor Stepper

Motor stepper merupakan motor yang mengubah pulsa listrik yang diberikan menjadi gerakan rotor yang diskrit disebut step. Misalnya jika satu derajat per langkah (step) maka motor tersebut memerlukan 360 pulsa untuk bergerak sebanyak satu putaran (pada intinya stepper motor mengubah pulsa listrik menjadi suatu perpindahan gerak yang tertentu secara rotasi) . Ukuran kerja dari stepper biasanya diberikan dalam jumlah langkah per putaran per detik.

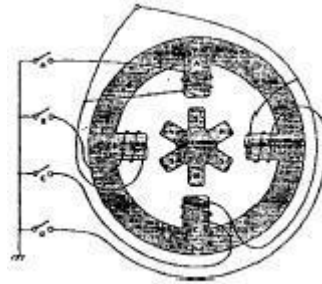


**Gambar 2.29** Konsep Dasar Motor Stepper

Dari gambar diatas terdapat istilah sbb: – stator stator core merupakan struktur bagian terluar dan memiliki enam poles/teeth. – rotor merupakan bagian dalam (inner device) yang terdiri dari empat poles. Baik stator maupun rotor dibuat dari soft steel. Pada gambar nampak bahwa stator memiliki tiga set windings (dict: “an electrical conductor that is wound around a magnetic material, esp. one encircling part of the stator or rotor of an electric motor or generator or forming part of a transformer”). Satu set dari windings dikatakan sebagai satu phase, dengan demikian gambar diatas merupakan motor tiga fase. Arus disuplai dari sumber tegangan DC melalui switch I, II, dan III.

Motor stepper banyak digunakan dalam bidang industri terutama dipakai pada suatu mesin atau peralatan kontrol digital yang membutuhkan ketepatan posisi. Keunggulan motor stepper lainnya adalah frekuensi pulsa input-nya tidak tergantung pada beban. Perputaran motor stepper adalah perputaran yang diskrit dan arah

perputarannya dapat searah ataupun berlawanan dengan arah jarum jam. Struktur sederhana dari motor stepper tampak pada Gambar 3 dalam penampang melintang :



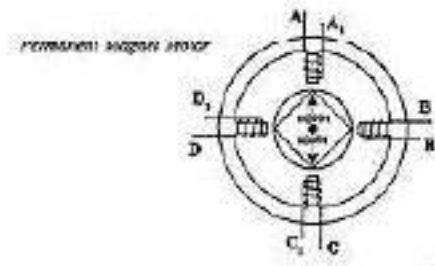
**Gambar 2.30.** Struktur Motor Stepper Sederhana

Jika dilihat dari prinsipnya motor stepper terbagi menjadi tiga jenis motor, dimana 3 jenis motor stepper memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Sedangkan jika dilihat dari lilitan yang ada didalamnya motor stepper dapat dibagi menjadi 2 jenis.

1. Berdasarkan prinsip kerjanya ketiga jenis motor stepper tersebut adalah :
  1. Permanent Magnet (PM)

Motor stepper berjenis PM adalah motor stepper yang rotornya merupakan magnet yang permanen, stator memperoleh medan magnet dari lilitan yang melingkari stator tersebut sehingga stator menghasilkan kutub – kutub magnet. Dengan adanya interaksi antara fluks rotor dengan gaya magnet stator maka motor stepper ini akan bergerak atau beroperasi. Terjadinya fluks dikarenakan pembiasan dari magnet rotor. Ciri – ciri dari motor stepper berjenis PM adalah pada saat keadaan tidak ada aliran arus (biasa disebut

keadaan tanpa eksitasi) maka jika motor ini diputar terdapat torsi yang menahan atau melawan.



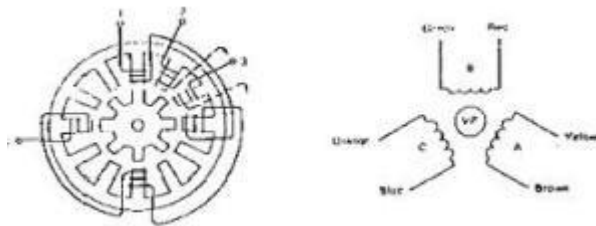
**Gambar 2.31** Konstruksi Motor Stepper Magnet Permanent

Gambar 4 tersebut merupakan magnet permanent sederhana 90 derajat motor magnet permanent dengan empat phase (A-D).

#### 1. Variable Reluctance (VR)

Motor stepper jenis ini memiliki bentuk rotor yang unik yaitu berbentuk silinder dan pada semua unitnya memiliki gerigi yang berbentuk silinder dan pada semua unitnya memiliki gerigi yang memiliki hubungan dengan kutub-kutub stator. Rotor pada magnet tipe ini tidak menggunakan magnet permanent. Stator terlilit oleh lilitan sehingga pada saat teraliri arus, stator akan menghasilkan kutub magnet. Jumlah gerigi pada rotor akan menentukan langkah atau step motor. Perbedaan motor stepper berjenis PM dengan VR yaitu motor berjenis VR memiliki torsi yang relatif lebih kecil dibanding dengan motor stepper berjenis PM. Hal lain yang dapat dilihat adalah sisa kemagnetan sangat kecil sehingga pada saat motor stepper tidak dialiri arus maka ketika diputar tidak ada torsi yang melawan. Sudut langkah motor stepper berjenis VR ini

bervariasi yaitu sekitar sampai dengan  $30^\circ$ . Motor stepper berjenis VR ini memiliki torsi yang kecil. Sering ditemukan pada printer dan instrumen-instrumen pabrik yang ringan yang tidak membutuhkan torsi yang besar.



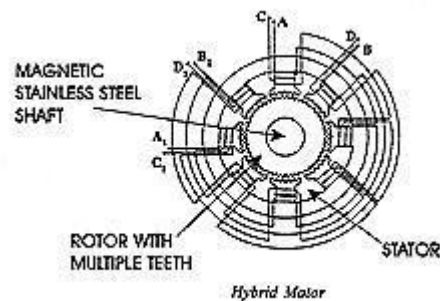
**Gambar 2.32** Konstruksi Motor Stepper Variable Reluctance

Seperti pada gambar 5 motor mempunyai 3 pasang kutub stator (A, B, C) yang diset terpisah 15 derajat. Arus dialirkan ke kutub A melalui lilitan motor yang menyebabkan tarikan magnetic yang menyelaraskan gigi rotor ke kutub A. jika kita memberi energi ke kutub B maka akan menyebabkan rotor berputar 15 derajat sejajar ke kutub B. proses ini akan berlanjut ke kutub C dan kembali ke kutub A searah dengan jarum jam.

#### 1. Permanent Magnet – Hybrid (PM-H)

Permanent magnet hybrid merupakan penyempurnaan motor stepper di mana motor stepper ini memiliki kecepatan 1000step/detik namun juga memiliki torsi yang cukup besar sehingga dapat dikatakan bahwa PM-H merupakan motor stepper kombinasi antara PM dan VR motor stepper. Motor hybrid mengkombinasikan karakteristik terbaik dari motor variable

reluktansi dan motor magnet permanent. Motor ini dibangun dengan kutub stator yang banyak-gigi dan rotor magnet permanent. Motor hybrid standar mempunyai 200 gigi rotor dan berputar pada 1,8 derajat sudut step. Karena memperlihatkan torsi tinggi dan dinamis serta berputar dengan kecepatan yang tinggi maka motor ini digunakan pada aplikasi yang sangat luas.

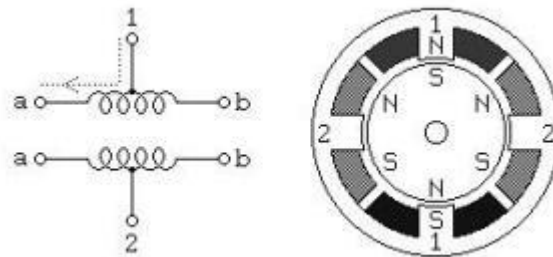


**Gambar 2.33.** Konstruksi Motor Stepper Jenis PM-hybrid

1. Dilihat dari lilitannya motor stepper terbagi menjadi 2 jenis yaitu :
  - a. Motor Stepper Unipolar

Motor stepper unipolar terdiri dari dua lilitan yang memiliki center tap. Center tap dari masing masing lilitan ada yang berupa kabel terpisah ada juga yang sudah terhubung didalamnya sehingga center tap yang keluar hanya satu kabel. Untuk motor stepper yang center tapnya ada pada masing – masing lilitan kabel inputnya ada 6 kabel. Namun jika center tapnya sudah terhubung di dalam kabel inputannya hanya 5 kabel. Center tap dari motor stepper dapat dihubungkan ke pentanahan atau ada juga yang menghubungkannya ke +VCC hal ini sangat dipengaruhi oleh

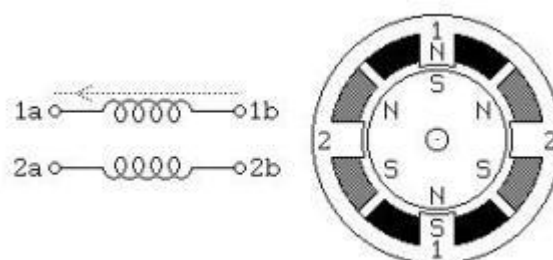
driver yang digunakan. Sebagai gambaran dapat dilihat konstruksi motor stepper unipolar pada gambar 7.



**Gambar 2.34** Konstruksi Motor Stepper Unipolar

#### b. Motor Stepper Bipolar

Motor stepper bipolar memiliki dua lilitan perbedaan dari tipe unipolar adalah bahwa pada tipe bipolar lilitannya tidak memiliki center tap. Keunggulan tipe bipolar yaitu memiliki torsi yang lebih besar jika dibandingkan dengan tipe unipolar untuk ukuran yang sama. Pada motor stepper tipe ini hanya memiliki empat kabel masukan. Namun untuk menggerakkan motor stepper tipe ini lebih rumit jika dibandingkan dengan menggerakkan motor stepper tipe unipolar. Sebagai gambaran dapat dilihat konstruksi motor stepper bipolar pada gambar 8.



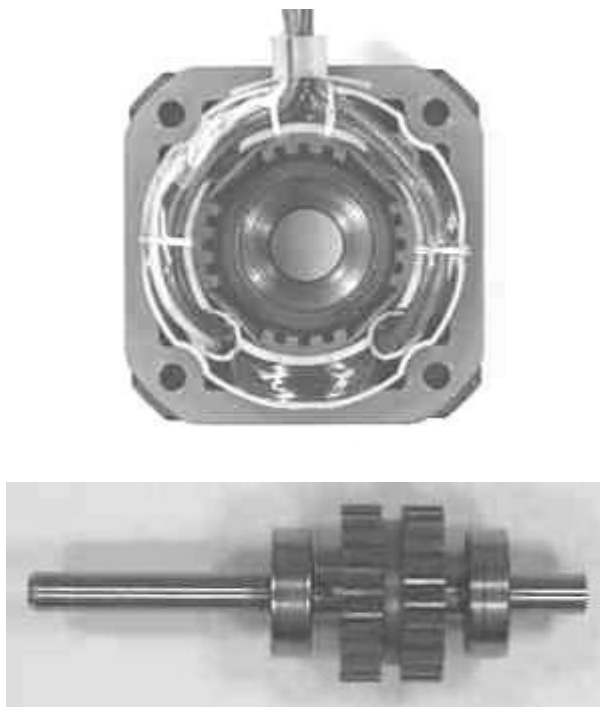
**Gambar 2.35** Konstruksi Motor Stepper Bipolar

Bentuk asli dan susunan motor stepper dapat dilihat pada gambar Gambar Gambar 2.38.



**Gambar 2.36** . Bagian Motor Stepper.

Dari gambar 10 dapat dilihat bagian-bagian dari motor stepper yaitu tersusun atas rotor, stator, bearing, casing dan sumbu. sumbu merupakan pegangan dari rotor dimana sumbu merupakan bagian tengah dari rotor, sehingga ketika rotor berputar sumbu ikut berputar. Stator memiliki dua bagian yaitu pelat inti dan lilitan. Plat inti dari motor stepper ini biasanya menyatu dengan casing. Casing motor stepper terbuat dari aluminium dan ini berfungsi sebagai dudukan bearing dan stator pemegangnya adalah baur sebanyak empat buah. Di dalam motor stapper memiliki dua buah bearing yaitu bearing bagian atas dan bearing bagian bawah.



**Gambar 2.37** Bagian Stator Motor stepper

## 2.6 *Accumulator (Aki)*

Baterai adalah perangkat yang mengandung sel listrik yang dapat menyimpan energi yang dapat dikonversi menjadi daya. Baterai menghasilkan listrik melalui proses kimia. Baterai atau *accumulator* adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang *reversible* (dapat berkebalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Yang dimaksud dengan reaksi elektrokimia *reversibel* adalah didalam baterai dapat berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik ( proses pengosongan ) dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia ( proses pengisian ) dengan cara proses regenerasi

dari elektroda - elektroda yang dipakai yaitu, dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan didalam sel [14].

Baterai terdiri dari dua jenis yaitu, baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer merupakan baterai yang hanya dapat dipergunakan sekali pemakaian saja dan tidak dapat diisi ulang. Hal ini terjadi karena reaksi kimia material aktifnya tidak dapat dikembalikan. Sedangkan baterai sekunder dapat diisi ulang, karena material aktifnya didalam dapat diputar kembali. Kelebihan dari pada baterai sekunder adalah harganya lebih efisien untuk penggunaan jangka waktu yang panjang.

### 2.6.1 Baterai Asam (*Lead Acid Storage Acid*)

Baterai asam yang bahan elektrolitnya adalah larutan asam belerang (*sulfuric acid* =  $H_2SO_4$ ). Didalam baterai asam, elektroda – elektroda nya terdiri dari plat – plat timah peroksida  $PbO_2$  (*Lead Peroxide*) sebagai anoda (kutub positif) dan timah murni  $Pb$  (*lead sponge*) sebagai katoda (kutub negatif). Ciri – ciri umumnya:

- a. Tegangan nominal per sel 2 volt
- b. Ukuran baterai per sel lebih besar dibandingkan dengan baterai alkali.
- c. Nilai berat jenis elektrolit sebanding dengan kapasitas baterai.
- d. Suhu elektrolit sangat mempengaruhi terhadap nilai berat jenis elektrolit, semakin tinggi suhu elektrolit semakin rendah berat jenis dan sebaliknya.
- e. Nilai jenis berat standart elektrolit tergantung dari pabrik pembuatnya.
- f. Umur baterai tergantung pada operasi dan pemeliharaan biasanya bisa mencapai 10 – 15 tahun.

Tegangan pengisian per sel harus sesuai dengan petunjuk operasi dan pemeliharaan dari pabrik pembuat. Sebagai contoh adalah:

- a) Pengisian awal (*Initial Charge*) : 2,7 Volt
- b) Pengisian *Floating* : 2,18 Volt
- c) Pengisian *Equalizing* : 2,25 Volt
- d) Pengisian *Boozting* : 2,37 Volt

- e) Tegangan pengosongan per sel (*Discharge*) : 2,0 – 1,8 Volt

### 2.6.2 Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai merupakan kemampuan baterai menyimpan daya listrik atau besarnya energi yang dapat disimpan dan dikeluarkan oleh baterai. Besarnya kapasitas, tergantung dari banyaknya bahan aktif pada plat positif maupun plat negatif yang bereaksi, dipengaruhi oleh jumlah plat tiap-tiap sel, ukuran, dan tebal plat, kualitas elektrolit serta umur baterai. Kapasitas energi suatu baterai dinyatakan dalam ampere jam (Ah), misalkan kapasitas baterai 100 Ah 12 volt artinya secara ideal arus yang dapat dikeluarkan sebesar 5 ampere selama 20 jam pemakaian.

Besar kecilnya tegangan baterai ditentukan oleh besar / banyak sedikitnya sel baterai yang ada di dalamnya. Sekalipun demikian, arus hanya akan mengalir bila ada konduktor dan beban yang dihubungkan ke baterai. Kapasitas baterai juga menunjukkan kemampuan baterai untuk mengeluarkan arus (*discharging*) selama waktu tertentu, dinyatakan dalam Ah (*Ampere – hour*). Berarti sebuah baterai dapat memberikan arus yang kecil untuk waktu yang lama atau arus yang besar untuk waktu yang pendek. Pada saat baterai diisi (*charging*), terjadilah penimbunan muatan listrik. Jumlah maksimum muatan listrik yang dapat ditampung oleh baterai disebut kapasitas baterai dan dinyatakan dalam ampere jam (*Ampere - hour*), muatan inilah yang akan dikeluarkan untuk

menyuplai beban ke pelanggan. Kapasitas baterai dapat dinyatakan dengan persamaan dibawah ini :

$$\mathbf{Ah = Kuat Arus (ampere) \times waktu (hours)}$$

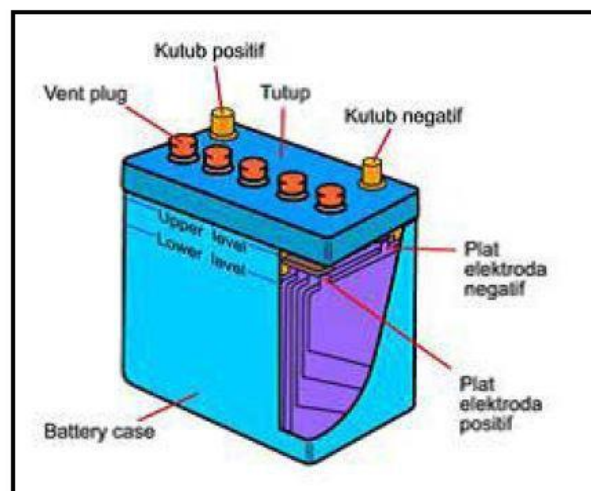
Dimana : Ah = kapasitas baterai aki

I = kuat arus (ampere)

t = waktu (jam/sekon)

### 2.5.3 Konstruksi Baterai Aki

Aki yang ada dipasaran ada 2 jenis yaitu aki basah dan aki kering. Aki basah media penyimpanan arus listrik ini merupakan jenis aki yang paling umum digunakan. Aki jenis ini masih perlu diberi air aki yang dikenal *accu zuur*.



**Gambar 2.38** Konstruksi aki

Sedangkan jenis aki kering merupakan jenis aki yang tidak memakai cairan, mirip seperti baterai telepon seluler. Aki ini tahan terhadap getaran dan suhu rendah.

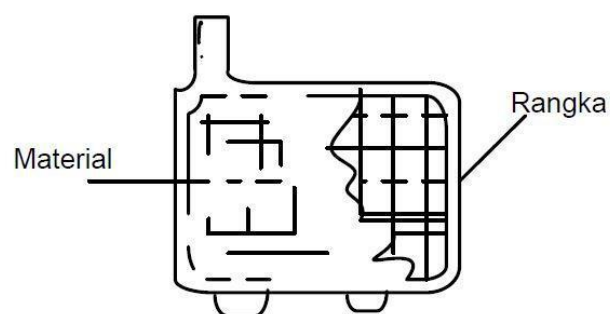
Dalam aki ini terdapat jenis elemen dan sel untuk menyimpan arus yang mengandung asam sulfat ( $H_2SO_4$ ). Tiap sel berisikan pelat positif dan negatif. Pada pelat positif terkandung oksidal timbal coklat ( $PbO_2$ ), sedangkan pelat negatif mengandung timbal ( $Pb$ ). Pelat-pelat ditempatkan pada batang penghubung. Pemisah atau separator menjadi isolasi diantara pelat itu, dibuat agar baterai acid mudah beredar disekeliling pelat. Bila ketiga unsur kimia ini berinteraksi, maka akan muncullah arus listrik.

Aki memiliki 2 kutub / terminal, kutub positif dan kutub negatif. Biasanya kutub positif (+) lebih besar atau lebih tebal dari kutub negatif (-), untuk menghindarkan kelalaian bila aki hendak dihubungkan dengan kabel-kabelnya. Pada aki terdapat batas minimum dan maksimum tinggi permukaan air aki untuk masing-masing sel. Bila permukaan air aki di bawah level minimum akan merusak fungsi sel aki. Jika air aki melebihi level maksimum, maka akan mengakibatkan air aki menjadi panas dan meluap keluar melalui tutup sel.

#### 1. Plat positif dan negatif

Plat positif dan plat negatif merupakan komponen utama suatu aki. Kualitas plat sangat menentukan kualitas suatu aki, plat-plat tersebut terdiri dari rangka yang terbuat dari paduan timbal antimon yang di isi dengan suatu bahan aktif.

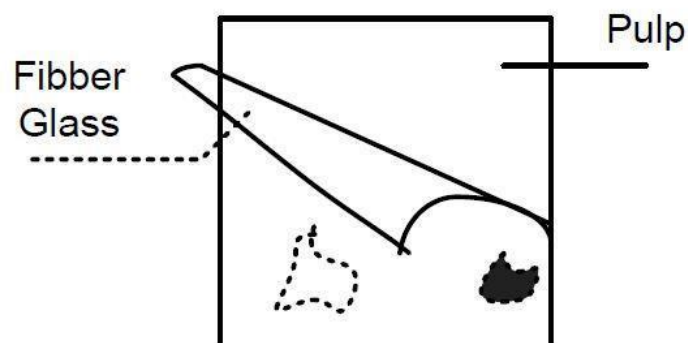
Bahan aktif pada plat positif adalah timbal peroksida yang berwarna coklat, sedang pada plat negatif adalah *spons* - timbal yang berwarna abu abu



**Gambar 2.39** Sel Aki <sup>[14]</sup>

## 2. Separator dan lapisan serat gelas

Antara plat positif dan plat negatif disisipkan lembaran separator yang terbuat dari serat *cellulosa* yang diperkuat dengan resin. Lembaran lapisan serat gelas dipakai untuk melindungi bahan aktif dari plat positif, karena timbal peroksida mempunyai daya kohesi yang lebih rendah dan mudah rontok jika dibandingkan dengan bahan aktif dari plat negatif. Jadi, fungsi lapisan serat gelas disini adalah untuk memperpanjang umur plat positif agar dapat mengimbangi plat negatif, selain itu lapisan serat gelas juga berfungsi melindungi separator PulpFibber Glass



**Gambar 2.40** Lapisan Serat Gelas <sup>[14]</sup>

## 3. Elektrolit

Cairan elektrolit yang dipakai untuk mengisi aki adalah larutan encer asam sulfat yang tidak berwarna dan tidak berbau.

Elektrolit ini cukup kuat untuk merusak pakaian. Untuk cairan pengisi aki dipakai elektrolit dengan berat jenis 1.260 pada 20° C.

#### 4. Penghubung antara sel dan terminal

Aki 12 volt mempunyai 6 sel, sedang Aki 6 volt mempunyai 3 sel. Sel merupakan unit dasar suatu Aki dengan tegangan sebesar 2 volt. Penghubung sel (*conector*) menghubungkan sel sel secara seri. Penghubung sel ini terbuat dari paduan timbal antimon. Ada dua cara penghubung sel - sel tersebut. Yang pertama melalui atas dinding penyekat dan yang kedua melalui (menembus) dinding penyekat. Terminal terdapat pada kedua sel ujung (pinggir), satu bertanda positif (+) dan yang lain negatif (-). Melalui kedua terminal ini listrik dialirkan penghubung antara sel dan terminal

#### 5. Sumbat

Sumbat dipasang pada lubang untuk mengisi elektrolit pada tutup aki, biasanya terbuat dari plastik. Sumbat pada Aki motor tidak mempunyai lubang udara. Gas yang terbentuk dalam Aki disalurkan melalui slang plastik/ karet. Uap asam akan tertahan pada ruang kecil pada tutup aki, kemudian asamnya dikembalikan kedalam sel.

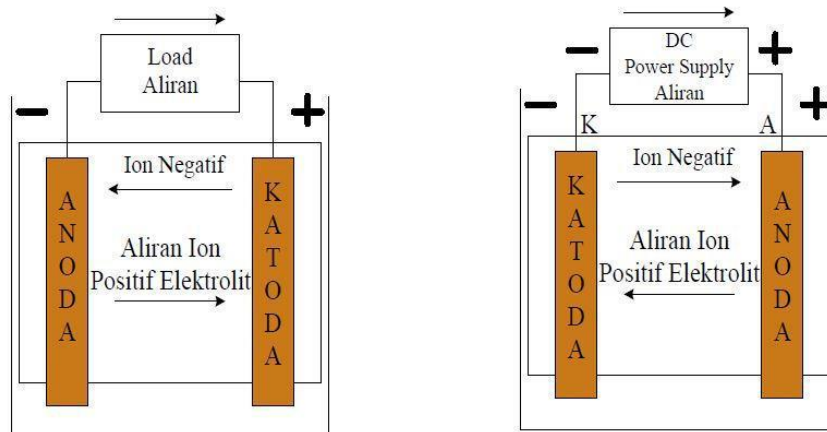
#### 6. Perekat bak dan tutup

Ada dua cara untuk menutup aki, yang pertama menggunakan bahan perekat lem, dan yang kedua dengan bantuan

panas (*Heat Sealing*). Yang pertama untuk bak *polystyrene* sedang yang kedua untuk bak *polipropylene*.

#### 2.6.4 Prinsip Kerja Accumulator

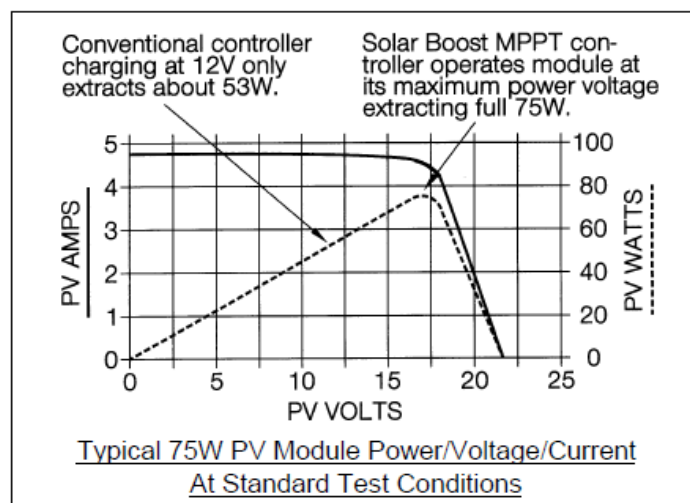
1. Proses pengosongan ( *discharge* ) pada sel berlangsung menurut gambar. Jika sel dihubungkan dengan beban maka, elektron mengalir dari anoda melalui beban melalui beban katoda, kemudian ion – ion negatif mengalir ke anoda dan ion – ion positif mengalir ke katoda.
2. Pada proses pengisian menurut gambar dibawah ini adalah bila sel dihubungkan dengan *power supply* maka elektroda positif menjadi anoda dan elektroda negatif menjadi katoda dan proses kimia yang terjadi adalah sebagai berikut:



**Gambar 2.41** Proses pengosongan dan pengisian aki

## 2.7 MPPT

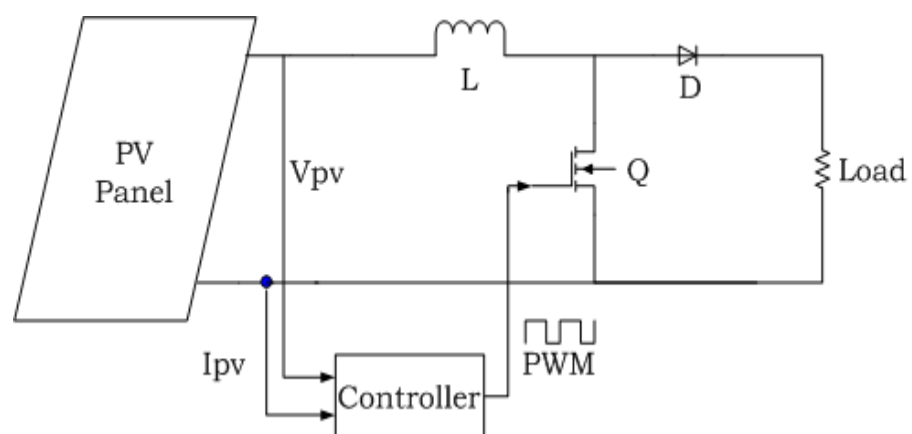
Maximum Power Point Tracking atau sering disingkat dengan MPPT merupakan sebuah sistem elektronik yang dioperasikan pada sebuah panel photovoltaic (PV) sehingga panel photovoltaic bisa menghasilkan power maksimum. Perlu diperhatikan, MPPT bukanlah sebuah sistem tracking mekanik yang digunakan untuk mengubah posisi modul terhadap posisi matahari sehingga mendapatkan energi maksimum matahari. MPPT benar-benar sebuah sistem elektronik yang bisa menelusuri titik power maksimum power yang bisa dikeluarkan oleh sebuah panel PV.



**Gambar 2.42** grafik PV pada MPPT

Mengapa MPPT ini sangat penting dan apa yang terjadi apabila MPPT tidak digunakan? mari kita lihat gambar di atas. Bayangkan

apabila sebuah PV panel dihubungkan langsung pada sebuah charger/disharger batere. PV panel tersebut mempunyai karakteristik seperti yang ditunjukkan pada gambar/grafik di atas yaitu pada temperatur  $25^{\circ}$  dan insolasi  $1000W/m^2$ . Bisa dilihat pada grafik bahwa apabila MPPT tidak digunakan, maka power yang bisa diekstrak dari PV panel hanyalah 53Watt pada 12Volt atau dengan kata lain power maksimum yang bisa digunakan hanyalah 70.67% dari power maximum sebenarnya. Dengan menggunakan MPPT maka power maksimum yang bisa diambil dari PV panel bisa dicapai.



**Gambar 2.43** rangkaian MPPT

Seperti apa bentuk MPPT secara fisik sebuah sistem MPPT di sini merupakan sebuah DC/DC converter dengan sebuah controller. Sebuah DC/DC converter digunakan pada sistem MPPT seperti pada gambar di atas. Pada contoh di atas, sebuah PV panel mempunyai maximum power 75Watt, tegangan maximum 17Volt dengan arus maximum sekitar 4.4Ampere. DC/DC converter tersebut akan menkonversi

tegangan 17 Volt dari PV panel menjadi tegangan batere sebagai output. Arus charge batere adalah

$$\text{menjadi } \frac{V_{\text{panel}}}{V_{\text{batere}}} \times I_{\text{module}} = \frac{17v}{12v} \times 4.4A =$$

6.20A

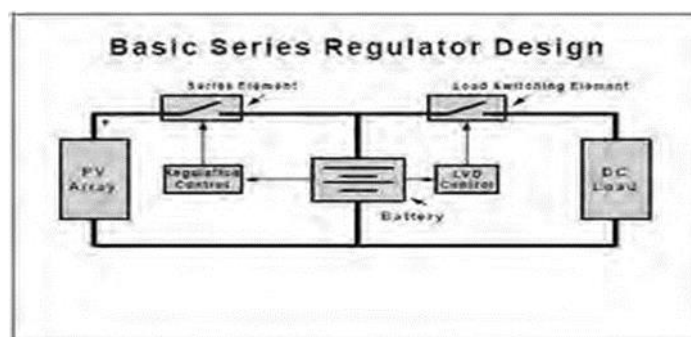
. Tentunya arus tersebut nilainya akan bervariasi tergantung dari penggunaannya itu sendiri.

### 2.7.1 Battery Charger Regulator (BCR)

Battery Charger Regulator (BCR) adalah sebuah rangkaian

kontrol yang

mempunyai tugas mengatur regulasi pengisian dan pengosongan baterai. Pengaturan ini dilakukan dengan cara memutuskan hubungan sumber (modul photovoltaic) dengan baterai ketika tegangan pada baterai telah mencapai titik HVD (High Voltage Disconnected) dan pengaturan juga dilakukan dengan memutuskan hubungan baterai dengan beban ketika tegangan baterai telah mencapai titik LVD (Low Voltage Disconnected).



**Gambar 2.44** Blok Diagram BCR

Fungsi utama dari Battery Charger Regulator (BCR) adalah mengatur proses pengisian dan pengosongan baterai agar baterai terhindar dari kerusakan. Pengaturan ini.

Jika pada titik ini baterai tetap terhubung dengan sumber, maka akan dapat mengakibatkan penurunan tegangan dan merusak sel-sel dalam baterai.

Pengaturan juga dilakukan dengan memutuskan hubungan baterai dengan beban tegangan baterai telah mencapai titik LVD ( Low Voltage Disconnected ).Hal ini dilakukan agar State Of Charge (SOC) baterai tidak berkurang melebihi daerah yang direkomendasikan dengan mengacu pada adanya variasi besar dan waktu pengisian dari matahari. Jika baterai tetap terhubung dengan beban pada tegangan titik mati (LVD), maka tegangan baterai akan menjadi habis dan akan merusak baterai.

Selain fungsi utama di atas, Battery Charger Regulator juga memiliki fungsi lain sebagai berikut :

- a. Penghubung antar komponen pada sistem PLTS.
- b. Proteksi terhadap beban berlebih (over load) pada beban.
- c. Proteksi arus balik dari baterai ke modul PV.
- d. Proteksi terhadap hubung singkat pada beban

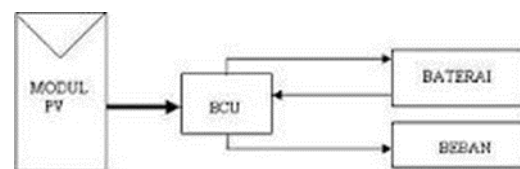
Prinsip kerja alat secara keseluruhan pada sistem PLTS. Pada dasarnya, baterai dan modul photovoltaic bekerja sama dalam memberikan energi listrik kepada beban. Energi listrik dapat dihasilkan langsung dari modul photovoltaic pada siang hari, dan dari baterai pada malam hari. Bisa juga dari keduanya pada saat cuaca mendung. Semua itu tidak terlepas dari fungsi BCR 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 pada 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 ditetapkan pada BCR yaitu 12 volt, maka BCR akan memutuskan hubungan antara modul dengan baterai yang ditandai dengan adanya arus hubungan singkat pada modul photovoltaic.

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 turun melewati batas ambang bawah (titik mati tegangan bawah) yang ditetapkan oleh BCR yaitu 11,5 volt, maka secara otomatis beban akan mati yang ditandai dengan

terputusnya hubungan antara baterai dengan beban (hubungan terbuka).

Battery Control Regulator (BCR) yang berfungsi sebagai proteksi over charge, juga sebagai proteksi pengosongan baterai berlebih (over discharge), proteksi beban lebih, hubung singkat, tegangan kejut halilintar, arus balik dari baterai ke sumber (pembangkit), dan proteksi polaritas terbalik baterai dan sumber (pembangkit).



**Gambar 2.45** Diagram Blok Solar Home System (SHS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan menggunakan modul photovoltaic (PV) sebesar 50 Wp. Sehingga pada alat BCR ini dibuat pada kapasitas 100-120 VA. Dalam penerapannya Battery Charger Regulator (BCR) dibagi menjadi dua tipe, yaitu tipe linier dan tipe diskrit (On-Off). Tipe linier mempunyai dua jenis Regulator Tegangan supply referensi yakni prinsip regulator shunt dan regulator seri.

### 2.7.2 On-Off Controller

Battery Charger Regulator (BCR) yang dipergunakan pada system 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 negative (set point lebih kecil dari proses variable) control dalam

keadaan off, artinya proses pengisian arus ke baterai terhenti. Ketika tidak terjadi error (set point sama dengan proses variable ) control tidak langsung berubah menjadi posisi on, tetapi keadaan on terjadi pada saat error positif. Berarti 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 aktuator yang dipakai. Jika aktuator dapat merespon dengan cepat setiap perubahan dari keluaran controller maka hysteresis dapat dibuat sekecil mungkin. Dan sebaliknya, jika respon lambat terhadap keluaran controller maka hysteresis harus dibuat lebih besar karena jika tidak akan cepat merusak aktuator dan membuat sistem control menjadi kacau.

### **2.7.3 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 titik HVD telah tercapai, modul akan berada dalam keadaan open circuit sehingga tidak ada lagi arus pengisian ke baterai.

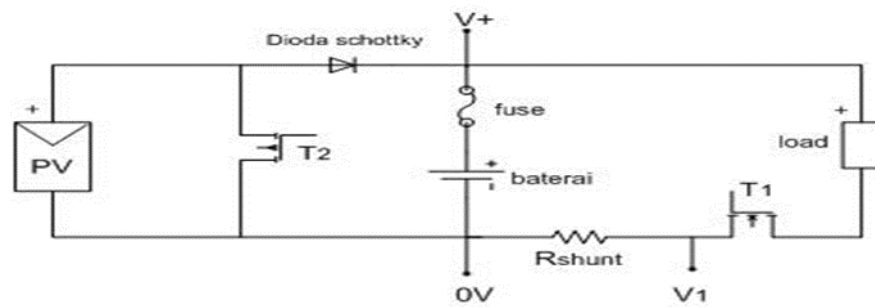
Kelemahan utama regulator tipe seri adalah besarnya tegangan jatuh pada saklar elektronik dan dioda schottky pada saat proses pengisian

baterai sehingga banyak energy 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, charger menyalurkan tegangan DC murni dan tidak memerlukan suatu saringan keluaran rangkaian ini tidak menimbulkan suara elektrik, sehingga rangkaian ini cocok digunakan radio.

#### **2.7.4 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 atas baterai (HVD) telah tercapai, modul akan berada dalam keadaan short circuit sehingga tidak ada lagi arus charging ke baterai.



**Gambar 2.46** Rangkaian dasar BCR tipe shunt

Keuntungan dari regulator shunt 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 beban maka energi beban diambil dari sumber ( modul PV ), bukan dari baterai seperti pada tipe seri. Sehingga energi dari modul tidak terbuang percuma dan baterai tetap penuh untuk digunakan pada malam hari.

kelemahan dari regulator shunt adalah memerlukan system pendingin yang bagus pada FET karena akan timbul panas lebih akibat arus short circuit yang besar dari modul PV ketika titik HVD tercapai.

### 2.7.5 Baterai

Baterai adalah alat yang menyimpan daya yang dihasilkan oleh panel surya yang tidak segera digunakan oleh beban. Daya yang disimpan dapat digunakan saat periode radiasi matahari rendah atau pada malam hari. Komponen baterai kadang-kadang dinamakan akumulator (accumulator). Akumulator adalah baterai yang merupakan suatu

sumber aliran yang paling populer yang dapat digunakan di mana-mana untuk keperluan yang bermacam-macam beranekaragam. Menurut Rudolf Michael (1995 : 22), akumulator dapat diartikan sebagai sel listrik yang berlangsung proses elektrokimia secara bolak-balik (reversible) dengan nilai efisiensi yang tinggi. Disini terjadi proses pengubahan tenaga kimia menjadi tenaga listrik, dan sebaliknya tenaga listrik menjadi tenaga kimia dengan cara regenerasi dari elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewati arus listrik dengan arah yang berlawanan di dalam sel-sel yang ada dalam akumulator. Saat pengisian tenaga listrik dari luar diubah menjadi tenaga listrik didalam akumulator dan disimpan didalamnya. Sedangkan saat pengosongan, tenaga di dalam akumulator diubah lagi menjadi tenaga listrik yang digunakan untuk mencatu energi dari suatu peralatan listrik. Dengan adanya proses tersebut akumulator sering dikenal dengan primer dan sekunder.

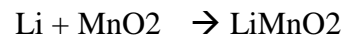
#### **2.7.5.1 Jenis-jenis baterai**

Terdapat beberapa jenis baterai yang bisa digunakan dan ditemukan sehari-hari, berdasarkan jenis bahan elektrolit yang digunakan maka ada beberapa jenis baterai seperti berikut ini :

##### **a. Baterai Timbal**

Baterai ini tersusun dari beberapa sel elektrokimia dan masing-masing sel bekerja dengan mempergunakan elektroda positif (anoda) yang terbuat dari  $PbO_2$  (lead oxide) dan digunakan terdiri dari asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) dan air ( $H_2O$ ). Untuk tipe baterai 12 Volt





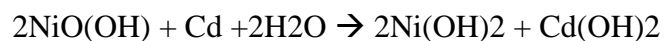
Baterai lithium ion memiliki kelebihan dibandingkan baterai lain, yaitu memiliki rapat muatan yang tinggi. Baterai lithium ion mempunyai tegangan nominal sebesar 3,6 Volt dan untuk charging tegangan yang diberikan adalah 4,2 Volt. Metoda charging yang digunakan untuk baterai ini adalah metoda tegangan konstan dengan pembatas arus. Metoda ini dilakukan dengan cara charging pertama menggunakan arus konstan sehingga tercapai tegangan sel sebesar 4,2 Volt dan dilanjutkan charging dengan tegangan konstan sampai arus menjadi nol.

c. Baterai Lithium-Polymer/Li-Po

Ini generasi paling baru baterai isi ulang. Selain ramah lingkungan, keunggulannya di baterai Li-Ion. Untuk perawatan baterai Lithium Polymer, tak jauh beda dengan Lithium Ion. Namun, Penanganannya harus ekstra hati – hati. Mengingat sifatnya yang ” liquid ” dengan tekanan yang cukup keras bisa menyebabkan bentuk baterai berubah. Kelemahan Li-Po justru mengharuskan kita mengisi ulang baterai jangan sampai menunggu ponsel mati dengan sendirinya. Atau sebisa mungkin ketika ponsel memberikan peringatan baterai lemah. Jika tidak, ponsel akan susah untuk diaktifkan karena baterai belum pulih sepenuhnya.

d. Baterai Nickel Cadmium/NiCad

Baterai NiCad atau baterai NiMH adalah baterai yang sering digunakan dalam skala kecil, baterai ini memiliki tegangan sebesar 1,2 Volt/sel. Baterai NiCad berisi plat elektroda positif nikel hidroksida dan elektroda negatif cadmium hidroksida, persamaan reaksi kimia baterai ini adalah :



Reaksi ini bekerja dari sisi kiri menuju sisi kanan, sedangkan saat charging reaksi berlangsung dari kanan ke kiri. Metoda charging yang digunakan adalah metode arus charging arus konstan.

e. Baterai Nickel Metal Hydride/NiMH

Baterai isi ulang ini masih memiliki memory effect namun hanya bersifat sementara. Jadi lebih fleksibel ketimbang jenis NiCD (Nickel Kadmium). Untuk pengisian ulang tak perlu menunggu benar – benar habis, namun dengan konsekuensi akan terasa cepat habis. Namun hal ini hanya berlangsung sementara, saat habis isi kembali dan kemampuannya akan normal lagi.

### 2.7.5.2 Baterai Pada Sistem PLTS

Baterai menyimpan listrik dalam bentuk daya kimia. Baterai yang paling biasa digunakan dalam aplikasi surya adalah baterai yang

bebas pemeliharaan bertimbal asam (maintenance-free lead-acid batteries), yang juga dinamakan baterai recombinant atau VRLA (klep pengatur asam timbal atau valve regulated lead acid). Kapasitas energi per kilogramnya relatif kecil. Baterai asam timbal terbagi dalam dua jenis yaitu Sealed atau biasa disebut dengan aki kering kadang juga disebutkan sebagai aki bebas perawatan dan Non-Sealed atau aki “biasa”. Perbedaan antara jenis Sealed dan Non-Sealed adalah adanya mekanisme pengembunan pada jenis Sealed untuk menjaga uap dari cairan elektrolit dalam baterai terbuang ke udara.

Baterai terbentuk oleh sekelompok elemen atau sel yang diletakan secara seri. timbal-asam terdiri dari dua elektroda timbal yang berada dalam larutan elektrolit air dan asam sulfat. Perbedaan potensial sekitar 2 volt terjadi di antara elektroda, tergantung pada nilai seketika kondisi penyimpanan baterai. Baterai yang paling umum dalam aplikasi surya fotovoltaik mempunyai tegangan nominal 12 atau 24 volt Maka sebuah baterai 12 V berisi 6 sel secara seri.

Baterai memenuhi dua tujuan penting dalam sistem fotovoltaik, yaitu untuk memberikan daya listrik kepada sistem ketika daya tidak disediakan oleh array panel- panel surya, dan untuk menyimpan kelebihan daya yang ditimbulkan oleh panel-panel setiap kali daya itu melebihi beban. Baterai tersebut mengalami proses siklis menyimpan dan mengeluarkan, tergantung pada ada atau tidak adanya sinar matahari. Selama waktu adanya matahari, array panel menghasilkan daya listrik. Daya yang tidak digunakan dengan segera dipergunakan

untuk mengisi baterai. Selama waktu tidak adanya matahari, permintaan daya listrik disediakan oleh baterai, yang oleh karena itu akan mengeluarkannya.

Siklus menyimpan dan mengeluarkan ini terjadi setiap kali daya yang dihasilkan oleh panel tidak sama dengan daya yang dibutuhkan untuk mendukung beban. Kalau ada cukup matahari dan bebannya ringan, baterai akan menyimpan daya. Tentunya, baterai akan mengeluarkan daya pada malam hari setiap kali sejumlah daya diperlukan. Baterai juga akan mengeluarkan daya ketika penyinaran tidak cukup untuk menutupi kebutuhan beban (karena variasi alami kondisi keikliman, awan, debu, dan lain-lain).

Jika baterai tidak menyimpan cukup daya untuk memenuhi permintaan selama periode tidak adanya matahari, sistem akan kehabisan daya dan tidak siap memenuhi konsumsi. Di sisi lainnya, memperbesar sistem (dengan menambahkan terlalu banyak panel dan baterai) mahal dan tidak efisien. Ketika mendesain sistem yang mandiri, kita perlu mengkompromikan antara biaya komponen dengan ketersediaan daya dari sistem. Satu cara untuk melakukan ini adalah memperkirakan jumlah hari dimana sistem beroperasi secara mandiri.

Sebaliknya, jika sistem surya bertanggung jawab atas daya yang menyediakan ke peralatan pelanggan kita mungkin dapat mengurangi jumlah hari otonomi sampai dua atau tiga. Di daerah dengan

penyinaran yang rendah, nilai ini mungkin perlu ditambah semakin banyak. Dalam kasus apapun, kita harus selalu menemukan keseimbangan yang baik antara biaya dan kehandalan.

Ada dua kondisi istimewa penyimpanan yang dapat terjadi selama siklus penyimpanan dan pengeluaran daya dari baterai. Keduanya sebaiknya dihindari guna memperpanjang umur kegunaan baterai:

a. Penyimpanan yang berlebihan (Overcharge)

Penyimpanan yang berlebihan atau overcharge terjadi pada saat baterai berada pada kondisi keterbatasan kapasitasnya. Jika daya yang dimasukkan di luar batas titik penyimpanan maksimum, elektrolit mulai hancur. Ini menghasilkan gelembung oksigen dan hidrogen, dalam proses yang diketahui sebagai pembuatan gas atau gasification. Ini berakibat hilangnya air, oksidasi di elektroda positif, dan dalam kasus ekstrim, terjadi bahaya ledakan. Di sisi lainnya, keberadaan gas menghindari stratifikasi asam. Setelah beberapa siklus penyimpanan dan pengeluaran yang terus menerus, asam cenderung terpusat di bagian bawah baterai, sehingga mengurangi kapasitas efektifnya. Proses gasifikasi menggerakkan elektrolit dan menghindari stratifikasi. Sekali lagi, adalah perlu untuk menemukan kompromi antara keuntungan (menghindari stratifikasi elektrolit) dan keadaan merugikan (kehilangan air dan produksi hidrogen). Satu pemecahannya adalah lebih sering membiarkan penyimpanan yang sedikit

berlebihan. Satu metode yang umum adalah membiarkan tegangan sebanyak 2,35 sampai 2,4 Volt untuk masing-masing elemen baterai sekali dalam beberapa hari, di suhu 25o C. Regulator sebaiknya menjamin penyimpanan berlebihan yang berkala dan terkontrol.

b. Pengeluaran daya yang berlebihan

Dengan cara yang sama dimana ada batas atas, ada juga batas bawah dari kondisi penyimpanan baterai. Mengeluarkan melebihi batas itu akan menimbulkan pengrusakan pada baterai. Ketika persediaan baterai yang efektif habis, pengatur mencegah daya yang tersisa agar tidak diambil dari baterai. Kalau tegangan baterai mencapai batas minimum 1,85 Volt setiap selnya di suhu 25° C, pengatur memutuskan beban dari baterai. Jika pengeluaran baterai sangat mendalam dan baterai tetap dalam kondisi pengeluaran untuk jangka waktu yang lama, akan terjadi tiga efek: pembentukan sulfat yang terkristal pada pelat baterai, bahan aktif pada pelat baterai akan lepas / berguguran, dan pelat baterai akan melengkung. Proses membentuk kristal sulfat yang stabil dinamakan sulfasi keras. Ini benar-benar tidak baik karena akan membentuk kristal besar yang tidak turut serta dalam reaksi kimia dan dapat membuat baterai anda tidak dapat digunakan.

### 2.7.5.3 Parameter Untuk Baterai

Kemampuan dari suatu baterai ditentukan oleh kapasitasnya yang diukur dalam Ampere/hour (Ah). Misal baterai dengan kapasitas 5 Ah maksimum dapat mengeluarkan arus sebesar 5 Ah selama satu jam. Berapa daya yang dapat dikeluarkan bisa dicari dari perkalian antara arus dan tegangan yang dikeluarkan, misal baterai di atas

bertegangan 12 volt, maka daya yang dikeluarkan adalah 60 Watt/hour (Wh).

Parameter berikutnya yang harus diketahui dalam operasional sebuah baterai adalah batasan daya yang boleh dikeluarkan dari baterai. Istilah teknis untuk parameter ini adalah Depth Of Discharge (DoD). Untuk baterai asam timbal, angka maksimumnya adalah 80%. Walaupun kurva tegangan baterai asam timbal relatif datar dan tidak curam pada bagian akhir, sebaiknya batasan tersebut tidak dilanggar untuk menjaga umur baterai.

State Of Charge (SOC) menyatakan perbandingan antara sisa muatan yang masih dapat digunakan dengan muatan pada kapasitas penuh. SOC biasanya dinyatakan dalam persen. 100% menunjukkan muatan baterai penuh, 50% untuk setengah penuh, 0% muatan habis (complete discharge). Urutan dari discharging kemudian charging kembali sampai SOC semula disebut satu cycle.

Depth Of Discharge (DOD) dalam satu cycle tergantung keperluan penggunaan baterai. DOD merupakan suatu batas maksimal pelepasan muatan dari baterai dan jika dalam keadaan ini baterai masih beroperasi maka akan terjadi kerusakan pada baterai. Untuk menjaga keseimbangan energi baterai, state of charge dibatasi sebesar 10% sampai dengan 30% dari kapasitas maksimal baterai. Pengaturan ini diperlukan karena adanya variasi besar dan waktu pengisian dari energi matahari di siang hari.

Pengisian dari suatu baterai juga harus diperhitungkan dalam operasional. Parameter ini diukur dalam satuan C dan merupakan angka relatif terhadap kapasitas. Misal baterai asam timbal mempunyai kecepatan pengisian 0.1 C, dengan asumsi tegangan pengisian sama dengan tegangan yang dikeluarkan oleh baterai, maka arus maksimum pengisian adalah 0,1 dari nilai Ah. Perlu diperhatikan untuk baterai asam timbal berjenis kering parameter pengisiannya hanya separuh dari yang berjenis basah.

#### **2.7.5.4 Metoda Charging (Pengisian) Baterai**

Banyaknya tipe dan jenis baterai membuat metoda pengisi

adapun bervariasi, diantaranya :

a. Metoda Tegangan Konstan

Charger tegangan konstan pada dasarnya adalah suatu power supply DC yang memiliki format sederhana terdiri dari sebuah trafo stepdown dan penyearah untuk menyediakan tegangan DC. Desain sederhana ini sering ditemukan pada charger baterai mobil untuk pengisian baterai Lead acid. Metoda tegangan konstan juga sering dipakai untuk baterai Lithium ion, walaupun lebih kompleks beberapa rangkaian perlu ditambahkan untuk melindungi baterai dan keselamatan pemakai.

b. Metoda Arus Konstan

Charging arus konstan bekerja dengan memvariasikan nilai tegangan pada baterai untuk menjaga arus agar bernilai tetap dan berhenti ketika tegangan mencapai beban penuh.

c. Metoda Tegangan dan Arus Konstan

Metoda ini digunakan untuk mengisi baterai dengan mengatur arus sebesar 0,4 A dan tegangan sebesar 2,45 Volt/sel pada suhu kamar (20-25°C). Lama untuk pengisian berkisar antara 6-12 jam, tergantung lama waktu saat pengosongan. Metoda ini digunakan untuk baterai Lead acid.

d. Metoda Tegangan Konstan Dua Tingkat

Metode ini menggunakan dua sumber tegangan konstan, pada tahap baterai diisi dengan sumber tegangan konstan pertama dengan diatur hingga pengaturan tegangan tinggi (sesuai kondisi

persyaratan baterai). Jika nilai arus sudah mencapai kondisi normal maka akan terjadi perpindahan (switch) dari sumber tegangan konstan pertama menuju sumber tegangan konstan kedua yang sudah diatur pada tegangan rendah.

e. Metoda Trickle Charge

Pada metoda ini baterai tidak dihubungkan dengan beban dan tetap mengalami pengisian dengan arus yang kecil sebagai kompensasi discharge sementara supply AC masih bekerja. Ketika ada kegagalan supply tenaga baterai akan terhubung secara otomatis dengan beban dan mensupply beban. Metoda ini tidak dapat digunakan untuk baterai jenis NiMH dan Li-Ion.

f. Metoda Float Charge

Baterai dan beban secara permanen dihubungkan secara paralel dengan sumber DC dan mensupply tegangan konstan dibawah batas tegangan maksimal baterai. Metoda ini biasa digunakan untuk system keadaan tenaga darurat dan baterai yang digunakan adalah Lead acid.

## 2.8 Power Inverter

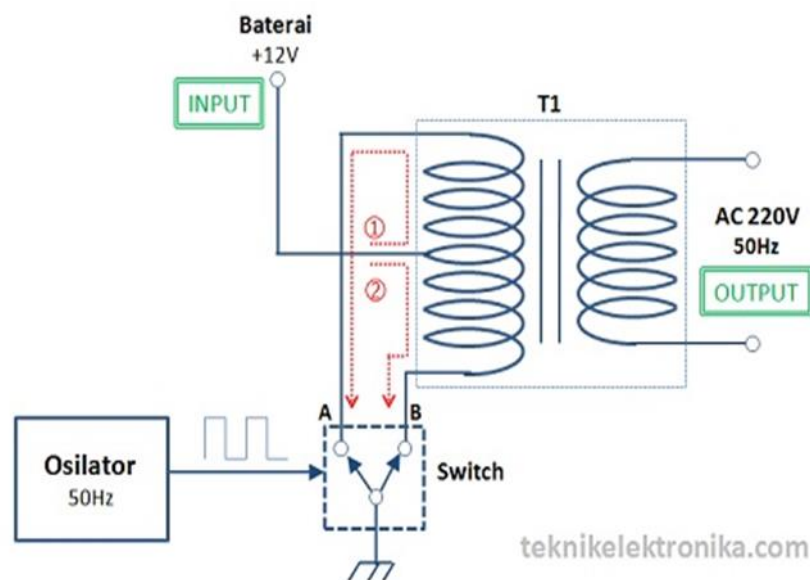
*Power Inverter* atau biasanya disebut dengan Inverter adalah suatu rangkaian atau perangkat elektronika yang dapat mengubah arus listrik

searah (DC) ke arus listrik bolak-balik (AC) pada tegangan dan frekuensi yang dibutuhkan sesuai dengan perancangan rangkaianannya. Sumber-sumber arus listrik searah atau arus DC yang merupakan Input dari *Power Inverter* tersebut dapat berupa Baterai, Aki maupun Sel Surya (*Solar Cell*). Inverter ini akan sangat bermanfaat apabila digunakan di daerah-daerah yang memiliki keterbatasan pasokan arus listrik AC. Karena dengan adanya *Power Inverter*, kita dapat menggunakan Aki ataupun Sel Surya untuk menggerakkan peralatan-peralatan rumah tangga seperti Televisi, Kipas Angin, Komputer atau bahkan Kulkas dan Mesin Cuci yang pada umumnya memerlukan sumber listrik AC yang bertegangan 220V ataupun 110V.

Bentuk-bentuk Gelombang yang dapat dihasilkan oleh *Power Inverter* diantaranya adalah gelombang persegi (*square wave*), gelombang sinus (*sine wave*), gelombang sinus yang dimodifikasi (*modified sine wave*) dan gelombang modulasi pulsa lebar (*pulse width modulated wave*) tergantung pada desain rangkaian inverter yang bersangkutan. Namun pada saat ini, bentuk-bentuk gelombang yang paling banyak digunakan adalah bentuk gelombang sinus (*sine wave*) dan gelombang sinus yang dimodifikasi (*modified sine wave*). Sedangkan Frekuensi arus listrik yang dihasilkan pada umumnya adalah sekitar 50Hz atau 60Hz dengan Tegangan Output sekitar 120V atau 240V. Output Daya listrik yang paling umum ditemui untuk produk-produk konsumen adalah sekitar 150 watt hingga 3000 watt.

### 2.8.1 Prinsip Kerja Inverter

Sederhananya, suatu Power Inverter yang dapat mengubah arus listrik DC ke arus listrik AC ini hanya terdiri dari rangkaian Osilator, rangkaian Saklar (Switch) dan sebuah Transformator (trafo) CT seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2.48** diagram inverter

Sumber daya yang berupa arus listrik DC dengan tegangan rendah (contoh 12V) diberikan ke Center Tap (CT) Sekunder Transformator sedangkan dua ujung Transformator 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 dari terminal positif baterai ke Center Tap Primer Transformator yang kemudian mengalir ke titik A Transformator

hingga ke ground melalui saklar. Pada saat saklar dipindahkan dari titik A ke titik B, arus listrik yang mengalir pada jalur 1 akan berhenti dan arus listrik jalur 2 akan mulai mengalir dari terminal positif baterai ke Center Tap Primer Transformator hingga ke ground melalui Saklar titik B. Titik A, B dan Jalur 1, 2 dapat dilihat pada gambar diatas,

Peralihan ON dan OFF atau A 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 demikian, arus listrik DC yang mengalir di jalur 1 dan jalur 2 juga bergantian sebanyak 50 kali per detik juga sehingga ekuivalen dengan arus listrik AC yang berfrekuensi 50Hz. Sedangkan komponen utama yang digunakan sebagai Switch di rangkaian Switch Inverter tersebut pada umumnya adalah MOSFET ataupun Transistor.

Sekunder Transformator akan menghasilkan Output yang berupa tegangan yang lebih tinggi (contohnya 120V atau 240V) tergantung pada jumlah lilitan pada kumparan sekunder Transformator atau rasio lilitan antara Primer dan Sekunder Transformator yang digunakan pada Inverter tersebut.

