

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Mobil Listrik**

Mobil listrik adalah mobil yang digerakkan dengan motor listrik DC, menggunakan energi listrik yang disimpan dalam baterai atau tempat penyimpanan energi (*Wikipedia.org*). Mobil listrik memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan mobil berbahan bakar BBM secara umum. Hal yang paling utama adalah mobil listrik tidak menghasilkan polusi udara, selain itu mobil listrik juga mengurangi efek rumah kaca karena tidak membutuhkan bahan bakar fosil sebagai penggerak utamanya.

##### **2.1.1. Sejarah Mobil Listrik**

Mobil listrik populer pada pertengahan abad ke-19 dan awal abad ke-20, ketika listrik masih dipilih sebagai penggerak utama pada kendaraan. Hal ini disebabkan karena mobil listrik menawarkan kenyamanan dan pengoperasian yang mudah dan tidak dapat dicapai oleh kendaraan-kendaraan berbahan bakar bensin. Perkembangan teknologi dalam pembakaran yang semakin maju, terutama di *Power* yang mengurangi popularitas mobil listrik. Hal ini ditambah dengan kemampuan mobil bensin dapat menempuh jarak yang lebih jauh, pengisian bensin yang lebih cepat, dan infrastruktur pengisian semakin bertambah, ditambah dengan sistem produksi massal yang diterapkan oleh *Ford Motor Company*, membuat harga mobil bensin turun drastis sampai setengah harga mobil listrik. Mobil listrik juga menjadi semakin tidak populer, dan secara total menghilang, terutama di pasar ilegal seperti Amerika Serikat, pada tahun 1930-an. tetapi pada tahun sekarang ini, semakin banyak orang yang sadar akan dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh mobil berbahan bakar bensin, ditambah harga bensin yang mahal dan terus naik, membuat mobil listrik kembali diminati. Mobil listrik jauh lebih ramah lingkungan dari mobil bensin, biaya perawatan lebih murah, ditambah teknologi baterai yang semakin maju. Kekurangannya adalah harga mobil listrik

saat ini masih belum terjangkau dalam kalangan menengah kebawah. Mobil listrik saat ini mulai mendapatkan lagi popularitasnya di beberapa negara di dunia setelah sekian lama menghilang.



Gambar 2.1 Thomas Edison dan mobil listriknya tahun 1913  
(sumber : [http://wikipedia.org/wiki/Mobil\\_Listrik](http://wikipedia.org/wiki/Mobil_Listrik), diakses terakhir tanggal 16 April 2015)

### 2.1.2. Perkembangan Mobil Listrik

Krisis energi pada tahun 1970-an dan 1980-an menimbulkan kembalinya minat masyarakat akan mobil listrik. Pada awal 1990-an, *California Air Resources Board* (CARB) mulai menekan para pabrikan otomotif untuk mulai membuat mobil yang efisien dalam bahan bakar, rendah emisi, dengan tujuan akhirnya adalah membuat kendaraan emisi nol seperti kendaraan listrik. Sebagai respon, beberapa pabrikan mencoba membuat mobil listrik mereka masing-masing, seperti Chrysler TEVan, truk Pick Up Ford Ranger EV, GM EV1, pikap S10 EV, Hatchback Honda EV Plus, Miniwagon Altra EV, dan Toyota RAV4 EV. Mobil-mobil ini akhirnya ditarik peredarannya di pasar Amerika Serikat.

Resesi ekonomi global pada akhir tahun 2000-an membuat banyak produsen otomotif dunia meninggalkan mobil-mobil SUV yang besar dan boros, dan beralih ke mobil-mobil kecil, hibrida, dan mobil listrik. Perusahaan otomotif asal California, *Tesla Motors*, memulai pengembangan *Tesla Roadster* pada tahun 2004, dan kemudian diluncurkan ke publik pada tahun 2008. Sampai bulan Januari 2011, Tesla telah berhasil menjual 1.500 *Unit Roadster* di 31 negara.

Mitsubishi Miev diluncurkan untuk penggunaan armada di Jepang bulan Juli 2009, dan mulai dijual pada perseorangan pada bulan April 2010. I Miev mulai dijual di Hong Kong bulan Mei 2010, dan Australia mulai Juli 2010.

Penjualan Nissan Leaf di Jepang dan Amerika Serikat dimulai pada bulan Desember 2010, meskipun di awal peluncurannya hanya tersedia di beberapa kawasan saja dengan jumlah yang terbatas pula. Sampai bulan September 2011, mobil-mobil listrik yang dijual di pasaran adalah REVAi, Buddy, Citroën C1 ev'ie, Transit Connect Electric, Mercedes-Benz Vito E-Cell, Smart ED, dan Wheego Whip LiFe.

Sampai pada awal tahun 2012, jumlah kendaraan listrik yang diproduksi massal yang tersedia di dunia masih terbatas. Kebanyakan mobil listrik yang tersedia saat ini adalah kendaraan listrik jarak dekat (*Neighborhood Electric Vehicle*, NEV). *Pike Research* mengestimasi ada sekitar 479.000 NEV di dunia saat ini. Kendaraan NEV yang paling laris adalah *Global Electric Motorcars* (GEM), yang sampai bulan Desember 2010 telah terjual lebih dari 45.000 unit sejak pertama dijual tahun 1998.

Indonesia tidak ketinggalan mengambil bagian dalam memproduksi mobil listrik. Walaupun masih berupa purwarupa, mobil listrik buatan anak bangsa cukup menjanjikan. Saat ini telah ada 2 model yang diketahui, yaitu Mobil listrik Ahmadi dan Tucuxi. Pada tanggal 20 Mei 2013 dilakukan diuji coba bus listrik untuk APEC 2013 Oktober. Sampai sekarang bus listrik tersebut melayani transportasi publik di Yogya. Tanggal 6 Mei 2014 ITS menorehkan rekor mobil listrik untuk dalam negeri dengan rincian jarak tempuh total 800 km, kecepatan rata-rata 120-130 km/jam serta setiap 8 jam dilakukan pengisian ulang selama 3 jam. Rute yang ditempuh adalah Jakarta–Bandung–Tasikmalaya–Purwokerto–Jogjakarta–Madiun–Surabaya.



Gambar 2.2 Mobil Listrik PT. PINDAD sebagai pengujian Motor Listrik  
(sumber : Dr. Agus Purwadi, *Penelitian dan Pengembangan Mobil Listrik Nasional 2014*)

## 2.2. Solar Cell

### 2.2.1. Pengertian Solar Cell (Photovoltaic)

*Solar Cell* atau panel surya adalah komponen elektronika dengan mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik. *Photovoltaic* (PV) adalah teknologi yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik. PV biasanya dikemas dalam sebuah unit yang disebut modul. Dalam sebuah modul surya terdiri dari banyak *Solar Cell* 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 *Potovoltaic*. *Solar Cell* mulai populer akhir-akhir ini, selain mulai menipisnya cadangan enegi fosil dan isu *Global Warming*. Energi yang dihasilkan juga sangat murah karena sumber energi (matahari) bisa didapatkan secara gratis. Skema *Solar Cell* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Skema Solar Cell

(Sumber : <http://solarsuryaindonesia.com/tenaga-surya>, diakses terakhir tanggal 16 April 2015)

### 2.2.2. Karakteristik *Solar Cell (Photovoltaic)*

*Solar Cell* pada umumnya memiliki ketebalan 0.3 mm, yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub (+) dan kutub (-). Apabila suatu cahaya jatuh pada permukaannya maka pada kedua kutubnya timbul perbedaan tegangan yang tentunya dapat menyalakan lampu, menggerakkan motor listrik yang berdaya DC. Untuk mendapatkan daya yang lebih besar bisa menghubungkan *Solar Cell* secara seri atau paralel tergantung sifat penggunaannya. Prinsip dasar pembuatan *Solar Cell* adalah memanfaatkan efek *Photovoltaic* yakni suatu efek yang dapat merubah langsung cahaya matahari menjadi energi listrik.

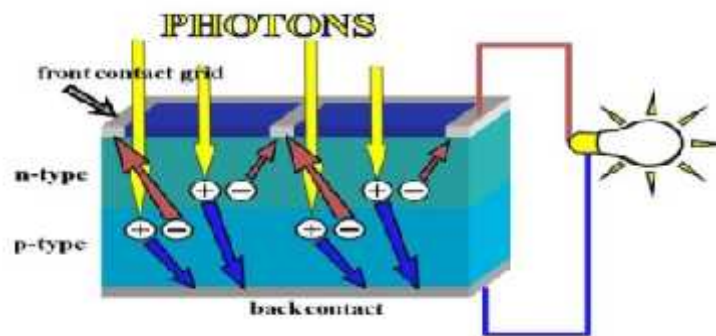
Spesifikasi keseluruhan dari *Solar Cell* yang digunakan adalah:

- Kekuatan daya maksimal : 50 Watt
- Kekuatan arus yang mengalir maksimal : 3.4 Ampere
- Kekuatan tegangan yang mengalir maksimal : 21.4 Volt
- Berat secara fisik : 1.8 Kg
- Ukuran fisik : 130 X 33 X 3 CM
- Tegangan maximum dalam sistem : 600 V
- Kondisi keseluruhan : SM =50  
 $E = 1000 \text{ W/m}^2$   
 $T_c = 25^{\circ}\text{C}$

(Sumber: Data Sheet Model Photovoltaic Module Siemens. USA)

### 2.2.3. Prinsip Dasar Teknologi *Solar Cell (Photovoltaic)* Dari Bahan Silikon

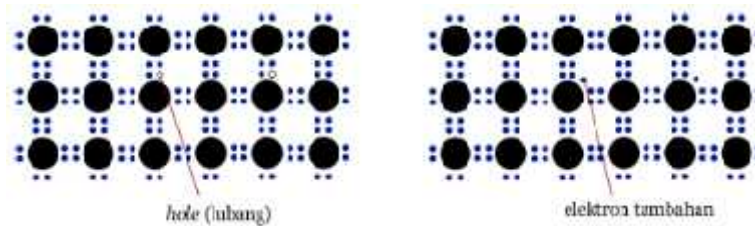
*Solar Cell* merupakan suatu perangkat semi konduktor yang dapat menghasilkan listrik jika diberikan sejumlah energi cahaya. Proses penghasilan energi listrik terjadi jika pemutusan ikatan elektron pada atom-atom yang tersusun dalam kristal semikonduktor ketika diberikan sejumlah energi. Salah satu bahan semikonduktor yang biasa digunakan sebagai *Solar Cell* adalah kristal *Silicon* (Ady Iswanto : 2008).



Gambar 2.4 Prinsip Kerja *Solar Cell*

(Sumber : Ady Iswanto, Staf Divisi Riset 102FM ITB, 2008)

### 2.2.3.1 Semikonduktor Tipe-P dan Tipe-N



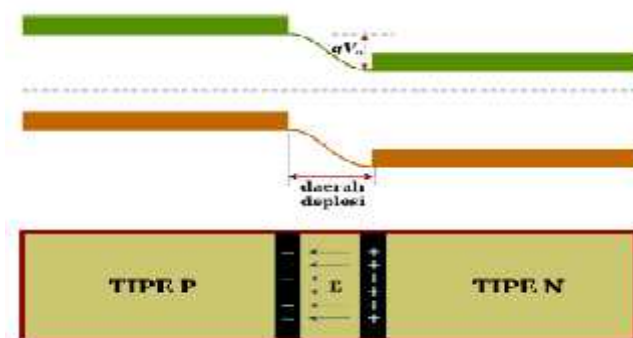
Gambar 2.5 Semikonduktor Tipe-P (Kiri) dan Tipe-N (Kanan)

(Sumber : Ady Iswanto, Staf Divisi Riset 102FM ITB, 2008)

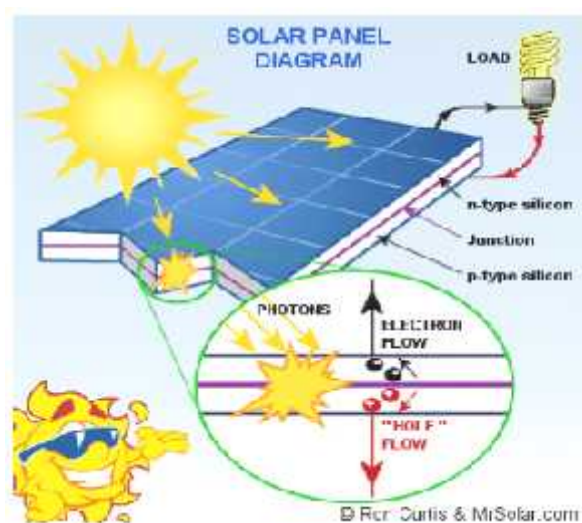
Ketika suatu kristal *Sillicon* ditambahkan dengan unsur golongan kelima, misalnya arsen, maka atom-atom arsen itu akan menempati ruang diantara atom-atom silikon yang mengakibatkan munculnya elektron bebas pada material campuran tersebut. Elektron bebas tersebut berasal dari kelebihan elektron yang dimiliki oleh arsen terhadap lingkungan sekitarnya, dalam hal ini adalah *Sillicon*. Semikonduktor jenis ini kemudian diberi nama semikonduktor tipe-n. Hal yang sebaliknya terjadi jika kristal *Sillicon* ditambahkan oleh unsur golongan ketiga, misalnya boron, maka kurangnya elektron valensi boron dibandingkan dengan *Sillicon* mengakibatkan munculnya *Hole* yang bermuatan positif pada semikonduktor tersebut. Semikonduktor ini dinamakan semikonduktor tipe-p. Adanya tambahan pembawa muatan tersebut mengakibatkan semikonduktor ini

akan lebih banyak menghasilkan pembawa muatan ketika diberikan sejumlah energi tertentu, baik pada semikonduktor tipe-n maupun tipe-p.

### 2.2.3.2. Sambungan P-N



Gambar 2.6 Diagram Energi Sambungan P-N Munculnya Daerah Deplesi  
(Sumber : Ady Iswanto, Staf Divisi Riset 102FM ITB, 2008)



Gambar 2.7 Struktur *Solar Cell* Silikon p-n Junction.

(Sumber : [http://solarcell.com.jpg/struktur\\_solar\\_cell](http://solarcell.com.jpg/struktur_solar_cell), Diakses: 23-02-2015. Jam: 14:00 WIB)

Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n disambungkan maka akan terjadi difusi *hole* dari tipe-p menuju tipe-n dan difusi elektron dari tipe-n menuju tipe-p. Difusi tersebut akan meninggalkan daerah yang lebih positif pada batas tipe-n dan daerah lebih negatif pada batas tipe-p. Adanya perbedaan muatan pada sambungan p-n disebut dengan daerah deplesi akan mengakibatkan munculnya medan listrik yang mampu menghentikan laju difusi selanjutnya. Medan listrik tersebut

mengakibatkan munculnya arus *Drift*. Arus *Drift* yaitu arus yang dihasilkan karena kemunculan medan listrik. Namun arus ini terimbangi oleh arus difusi sehingga secara keseluruhan tidak ada arus listrik yang mengalir pada semikonduktor sambungan p-n tersebut (*Ady Iswanto : 2008*).

Sebagaimana yang kita ketahui bersama, elektron adalah partikel bermuatan yang mampu dipengaruhi oleh medan listrik. Kehadiran medan listrik pada elektron dapat mengakibatkan elektron bergerak. Hal inilah yang dilakukan pada *Solar Cell* sambungan p-n, yaitu dengan menghasilkan medan listrik pada sambungan p-n agar elektron dapat mengalir akibat kehadiran medan listrik tersebut. Ketika *Junction* disinari, *Proton* yang mempunyai elektron sama atau lebih besar dari lebar pita elektron tersebut akan menyebabkan eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi dan akan meninggalkan *Hole* pada pita valensi. Elektron dan *Hole* ini dapat bergerak dalam material sehingga menghasilkan pasangan elektron *Hole*.

Apabila ditempatkan hambatan pada terminal *Solar Cell*, maka elektron dari area-n akan kembali ke area-p sehingga menyebabkan perbedaan potensial dan arus akan mengalir.

#### **2.2.4. Prinsip Dasar Solar Cell (Photovoltaic) Dari Bahan Tembaga**

*Photovoltaic* berdasarkan bentuk dibagi dua, yaitu *Photovoltaic* padat dan *Photovoltaic* cair. *Photovoltaic* cair prinsip kerjanya hampir sama dengan prinsip elektrolisis, namun perbedaannya tidak adanya reaksi oksidasi dan reduksi secara bersamaan (redoks) yang terjadi melainkan terjadinya pelepasan elektron saat terjadi penyinaran oleh cahaya matahari dari pita valensi (keadaan dasar) ke pita konduksi (keadaan elektron bebas) yang mengakibatkan terjadinya perbedaan potensial dan akhirnya menimbulkan arus. Pada *Solar Cell* cair dari bahan tembaga terdapat dua buah tembaga yaitu tembaga konduktor dan tembaga semikonduktor. Tembaga semikonduktor akan menghasilkan muatan elektron negatif jika terkena cahaya matahari, sedangkan tembaga konduktor akan menghasilkan muatan elektron positif. Karena adanya perbedaan potensial akhirnya akan menimbulkan arus.



## 2.2.5. Sistem Instalasi Solar Cell

### 2.2.5.2. Rangkaian Seri Solar Cell

Hubungan seri suatu *Solar Cell* didapat apabila bagian depan (+) *Solar Cell* utama dihubungkan dengan bagian belakang (-) *Solar Cell* kedua (*Owen Bishop : 2004*). Hubungan seri dari *Solar Cell* dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Hubungan Seri

(Sumber : *Ady Iswanto, Staf Divisi Riset 102FM ITB, 2008*)

Tegangan *Solar Cell* dijumlahkan apabila dihubungkan seri satu sama lain.

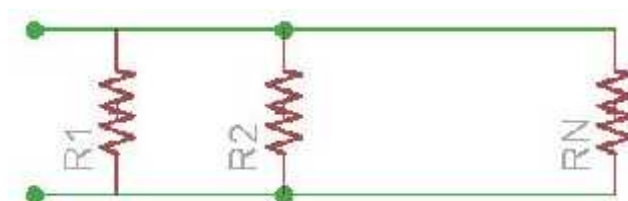
$$U_{\text{total}} = U_1 + U_2 + U_3 + U_n \dots \dots \dots (1)$$

Arus *Solar Cell* sama apabila dihubungkan seri satu sama lain.

$$I_{\text{total}} = I_1 = I_2 = I_3 = I_n \dots \dots \dots (2)$$

### 2.2.5.3. Rangkaian Paralel Solar Cell

Rangkaian paralel *Solar Cell* didapat terminal kutub positif dan kutub negatif *Solar Cell* dihubungkan satu sama lain (*Owen Bishop : 2004*). Hubungan paralel *Solar Cell* dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Hubungan Paralel

(Sumber : *Ady Iswanto, Staf Divisi Riset 102FM ITB, 2008*)

Tegangan *Solar Cell* yang dihubungkan *Parallel* sama dengan satu solar cell.

$$U_{\text{total}} = U_1 = U_2 = U_3 = U_n \dots \dots \dots (3)$$

Arus yang timbul dari hubungan ini langsung dijumlahkan.

$$I_{\text{total}} = I_1 = I_2 = I_3 = I_n \dots \dots \dots (4)$$

### 2.3. *Accu*

*Accumulator* atau sering disebut *Accu*, adalah salah satu komponen utama dalam kendaraan bermotor, baik mobil atau motor, semua memerlukan *Accu* untuk dapat menghidupkan mesin mobil (mencatu arus pada dinamo stater kendaraan). *Accu* mampu mengubah tenaga kimia menjadi tenaga listrik. Di pasaran saat ini sangat beragam jumlah dan jenis *Accu* yang dapat ditemui. *Accu* untuk mobil biasanya mempunyai tegangan sebesar 12 Volt, sedangkan untuk motor ada tiga jenis tegangan.

12 Volt, 9 volt dan ada juga yang bertegangan 6 Volt. Selain itu juga dapat ditemukan pula *Accu* yang khusus untuk menyalakan *Tape* atau radio dengan tegangan juga yang dapat diatur dengan rentang 3, 6, 9, dan 12 Volt. Tentu saja *Accu* jenis ini dapat dimuati kembali (*Recharge*) apabila muatannya telah berkurang atau habis. Dikenal dua jenis elemen yang merupakan sumber arus searah (DC) dari proses kimiawi, yaitu elemen primer dan elemen sekunder. Elemen primer terdiri dari elemen basah dan elemen kering. Reaksi kimia pada elemen primer yang menyebabkan elektron mengalir dari elektroda negatif (*Katoda*) ke elektroda positif (*Anoda*) tidak dapat dibalik arahnya. Maka jika muatannya habis, maka elemen primer tidak dapat dimuati kembali dan memerlukan penggantian bahan pereaksinya (elemen kering). Sehingga dilihat dari sisi ekonomis elemen primer dapat dikatakan cukup boros. Contoh elemen primer adalah batu baterai (*Dry Cells*).

*Allesandro Volta*, seorang ilmuwan fisika mengetahui, gaya gerak listrik (ggl) dapat dibangkitkan dua logam yang berbeda dan dipisahkan larutan elektrolit. Volta mendapatkan pasangan logam tembaga (Cu) dan seng (Zn) dapat membangkitkan ggl yang lebih besar dibandingkan pasangan logam lainnya (kelak disebut elemen Volta). Hal ini menjadi prinsip dasar bagi pembuatan dan penggunaan elemen sekunder. Elemen sekunder harus diberi muatan terlebih dahulu sebelum digunakan, yaitu dengan cara mengalirkan arus listrik

melaluinya (secara umum dikenal dengan istilah disetrum).

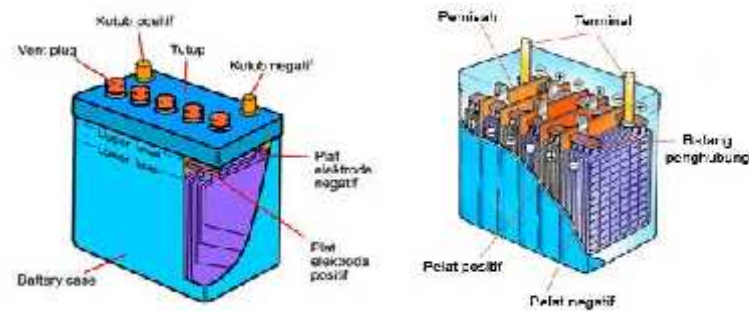
Akan tetapi, tidak seperti elemen primer, elemen sekunder dapat dimuati kembali berulang kali. Elemen sekunder ini lebih dikenal dengan *Accu*. Dalam sebuah *Accu* berlangsung proses elektrokimia yang reversibel (bolak-balik) dengan efisiensi yang tinggi. Yang dimaksud dengan proses elektrokimia reversibel yaitu di dalam *Accu* saat dipakai berlangsung proses pengubahan kimia menjadi tenaga listrik (*Discharging*). Sedangkan saat diisi atau dimuati, terjadi proses tenaga listrik menjadi tenaga kimia (*Charging*).

Jenis *Accu* yang umum digunakan adalah *Accumulator* timbal. Secara fisik *Accu* ini terdiri dari dua kumpulan pelat yang dimasukkan pada larutan asam sulfat encer ( $H_2SO_4$ ). Larutan elektrolit itu ditempatkan pada wadah atau bejana *Accu* yang terbuat dari bahan ebonit atau gelas. Kedua belah pelat terbuat dari timbal (Pb), dan ketika pertama kali dimuati maka akan terbentuk lapisan timbal dioksida ( $PbO_2$ ) pada pelat positif. Letak pelat positif dan negatif sangat berdekatan tetapi dibuat untuk tidak saling menyentuh dengan adanya lapisan pemisah yang berfungsi sebagai isolator (bahan penyekat).

### 2.3.3. Macam dan Cara Kerja *Accu*

*Accu* yang ada di pasaran ada 2 jenis yaitu *Accu* basah dan *Accu* kering. *Accu* basah media penyimpan arus listrik ini merupakan jenis paling umum digunakan. *Accu* jenis ini masih perlu diberi air *Accu* yang dikenal dengan sebutan *Accu Zuur*. Sedangkan *Accu* kering merupakan jenis *Accu* yang tidak memakai cairan, mirip seperti baterai telepon selular. *Accu* ini tahan terhadap getaran dan suhu rendah (gambar 2.10).

Dalam *Accu* terdapat elemen dan sel untuk penyimpan arus yang mengandung asam sulfat ( $H_2SO_4$ ). Tiap sel berisikan pelat positif dan pelat negatif. Pada pelat positif terkandung oksid 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, muncullah arus listrik.



Gambar 2.10 Sel Accu

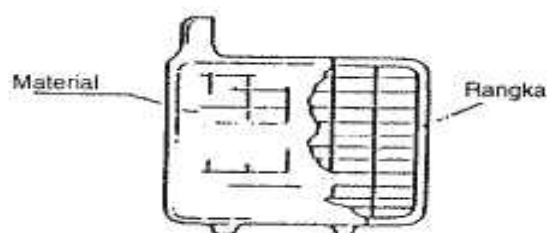
(Sumber: [id.m.wikipedia.org/akumulator](http://id.m.wikipedia.org/akumulator), diakses terakhir tanggal 17 April 2015 )

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

#### 2.3.4. Konstruksi Accu

##### 1. Plat positif dan negatif

Plat positif dan plat negatif merupakan komponen utama suatu Accu. Kualitas plat sangat menentukan kualitas suatu Accu, 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 2.11).

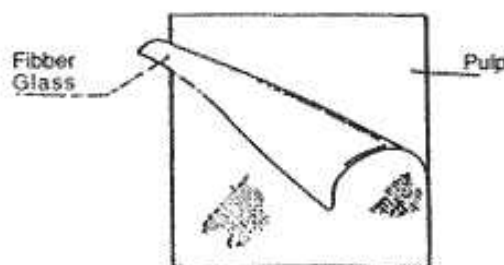


Gambar 2.11 Plat Sel Accu

(Sumber: Daryanto, bab 5 Pengetahuan Baterai Mobil, Bumi Aksara 2006)

## 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 (gambar 2.12).



Gambar 2.12 Lapisan Serat Gelas

(Sumber: Daryanto, bab 5 Pengetahuan Baterai Mobil, Bumi Aksara 2006)

## 3. Elektrolit

Cairan elektrolit yang dipakai untuk mengisi *Accu* adalah larutan encer asam sulfat yang tidak berwarna dan tidak berbau. Elektrolit ini cukup kuat untuk merusak pakaian. Untuk cairan pengisi *Accu* dipakai elektrolit dengan berat jenis 1.260 pada 20°C.

## 4. Penghubung antara sel dan terminal

*Accu* 12 volt mempunyai 6 sel, sedang *Accu* 6 volt mempunyai 3 sel. Sel merupakan unit dasar suatu *Accu* 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 *Accu*, biasanya terbuat dari plastik. Sumbat pada *Accu* motor tidak mempunyai lubang udara. Gas yang terbentuk dalam *Accu* disalurkan melalui slang plastik/karet. Uap asam akan tertahan pada ruang kecil pada tutup *Accu*, kemudian asamnya dikembalikan kedalam sel.

#### 6. Perekat bak dan tutup

Ada dua cara untuk menutup *Accu*, yang pertama menggunakan bahan perekat lem, dan yang kedua dengan bantuan panas (*Heat Sealing*). Pertama untuk bak *Polystyrene* sedang yang kedua untuk bak *Polipropylene*.

### 2.3.5 Standar tegangan dan tingkat isi daya pada *accu* mobil 12V

Berikut adalah data pembacaan standar tegangan dan tingkat isi daya pada *accu* mobil 12V. Pembacaan dilakukan dalam kondisi mesin mati dan langsung diukur pada terminal aki :

Tabel 2.1 Standar tegangan *accu* mobil 12V

<i>State of Charge</i>	<i>Specific Gravity</i>	<i>Voltage</i>
		<b>12V</b>
100%	1.265	12.7
75%	1.225	12.4
50%	1.190	12.2
25%	1.155	12.0
<i>Discharged</i>	1.120	11.9

(Sumber : <http://www.batterystuff.com> diakses terakhir tanggal 18 april 2015)

Keterangan :

- Penghitungan yang akurat untuk kondisi *accu* penuh di dapat setelah *accu* lebih dari 12 jam diistirahatkan selesai di-charge.

- Apabila *accu* baru selesai di *charge* akan terbaca 12,9 - 13,6V karena ada tegangan permukaan pada sel - sel aki (*surface charging*).
- Untuk melihat tegangan riilnya, nyalakan dulu lampu besar selama 5menit utk menghilangkan *surface charging*, baru dapat diukur tegangannya.
- Apabila Voltmeter dipasang agak jauh dari terminal *accu*. Maka, tegangan yang terbaca akan sedikit lebih rendah. karena adanya resistansi kabel.
- Apabila tegangan menunjukkan kurang dari sama dengan 10,5V, itu berarti ada korsleting di dalam sel - sel internal aki (*shorted cell*), artinya aki rusak dan tidak bisa di-*charge* atau dipakai lagi.
- *Accu* yg lebih besar tetap akan menunjukkan ukuran tegangan yg sama dengan aki kecil alias (tidak berpengaruh), namun *accu* yang amperenya dua kali lebih besar tentu menyimpan listrik juga dua kali lebih besar walaupun saat kondisinya sama - sama 50% full misalnya.

## **2.4. Mikrokontroler ATmega32**

Mikrokontroler, sebagai suatu terobosan teknologi mikrokontroler dan mikrokomputer, hadir memenuhi kebutuhan pasar (*Market Need*) dan teknologi baru. Sebagai teknologi baru, yaitu teknologi semikonduktor dengan kandungan transistor yang lebih banyak namun hanya membutuhkan ruang kecil serta dapat diproduksi secara massal (dalam jumlah banyak) sehingga harga menjadi lebih murah (dibandingkan mikroprosesor). Sebagai kebetuhan pasar, mikrokontroler hadir untuk memenuhi selera industri dan para konsumen akan kebutuhan dan keinginan alat-alat bantu dan mainan yang lebih canggih.

### **2.4.1. Pengertian Mikrokontroler ATmega32**

Mikrokontroler ATmega32 merupakan salah satu keluarga dari MCS-51 keluaran Atmel. Jenis Mikrokontroler ini pada prinsipnya dapat digunakan untuk mengolah data per bit ataupun 8 bit secara bersamaan. Pada prinsipnya program pada Mikrokontroler dijalankan bertahap, jadi pada program itu sendiri terdapat beberapa set instruksi dan tiap instruksi itu dijalankan secara bertahap atau berurutan.

### 2.4.2. Karakteristik Mikrokontroler ATmega32

Beberapa fasilitas yang dimiliki oleh Mikrokontroler ATmega32 adalah sebagai berikut: (*hal 9, Jurnal Tutorial Mikrokontroler ATmega 32*)

- Sebuah *Central Processing Unit* 8 bit.
- Osilator: Internal dan rangkaian pewaktu.
- RAM internal 128 byte.
- *Flash Memory* 2 Kbyte.
- Lima buah jalur interupsi (dua buah interupsi eksternal dan tiga buah interupsi internal).
- Empat buah *Programmable* port I/O yang masing – masing terdiri dari delapan buah jalur I/O.
- Sebuah port serial dengan control serial *Full Duplex* UART.
- Kemampuan untuk melaksanakan operasi aritmatika dan operasi logika. Kecepatan dalam melaksanakan instruksi per siklus 1 mikrodetik pada frekuensi 12 MHz.

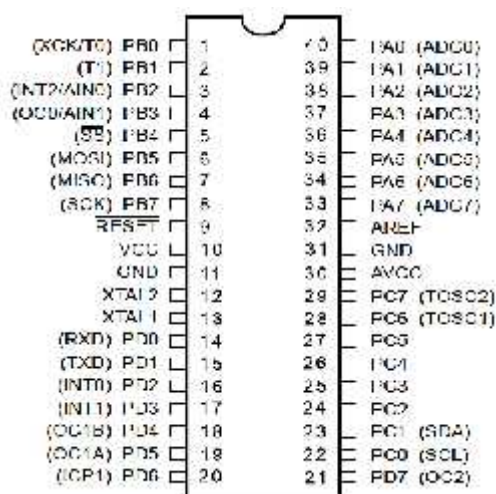
Mikrokontroler ATmega32 hanya memerlukan 3 tambahan kapasitor, 1 resistor dan 1 kristal serta catu daya 5 Volt. Kapasitor 10 mikro-Farad dan resistor 10 K dipakai untuk membentuk rangkaian reset. Dengan adanya rangkaian reset ini ATmega32 otomatis direset begitu rangkaian menerima catu daya. Kristal dengan frekuensi maksimum 24 MHz dan kapasitor 30 pF dipakai untuk melengkapi rangkaian *Oscillator* pembentuk *Clock* yang menentukan kecepatan kerja mikrokontroler. Memori merupakan bagian yang sangat penting pada mikrokontroler. Mikrokontroler memiliki dua macam memori yang sifatnya berbeda. *Read Only Memory* (ROM) yang isinya tidak berubah meskipun IC kehilangan catu daya. Sesuai dengan keperluannya, dalam susunan MCS-51 memori penyimpanan program ini dinamakan sebagai memori program.

ATmega32 mempunyai enam sumber pembangkit interupsi, dua diantaranya adalah sinyal interupsi yang diumpankan ke kaki INT0 dan INT1. Kedua kaki ini berhimpitan dengan P3.2 dan P3.3 sehingga tidak bisa dipakai sebagai jalur input/output paralel kalau INT0 dan INT1 dipakai untuk menerima



sinyal interupsi. ATmega32 merupakan tipe AVR yang telah dilengkapi dengan 8 saluran ADC internal dengan fidelitas 10 bit. Dalam mode operasinya, ADC ATmega32 dapat dikonfigurasi, baik secara single ended input maupun *Differential* input. Selain itu, ADC ATmega32 memiliki konfigurasi pewaktuan, tegangan referensi, mode operasi, dan kemampuan *Filter* derau yang amat fleksibel, sehingga dengan mudah disesuaikan dengan kebutuhan ADC itu sendiri.

Port1 dan 2, UART, Timer 0, Timer 1 dan sarana lainnya merupakan *Register* yang secara fisik merupakan RAM khusus, yang ditempatkan di *Special Function Register* (SFR). Deskripsi pin-pin pada Mikrokontroler ATmega32:



Gambar 2.13 Konfigurasi IC Mikrokontroler ATmega32

(Sumber: Nugraha, Dhani dkk. *Jurnal Tutorial Mikrokontroler ATmega 32*, 2011)

#### Penjelasan Pin:

VCC : Tegangan *Supply* (5 volt)

GND : *Ground*

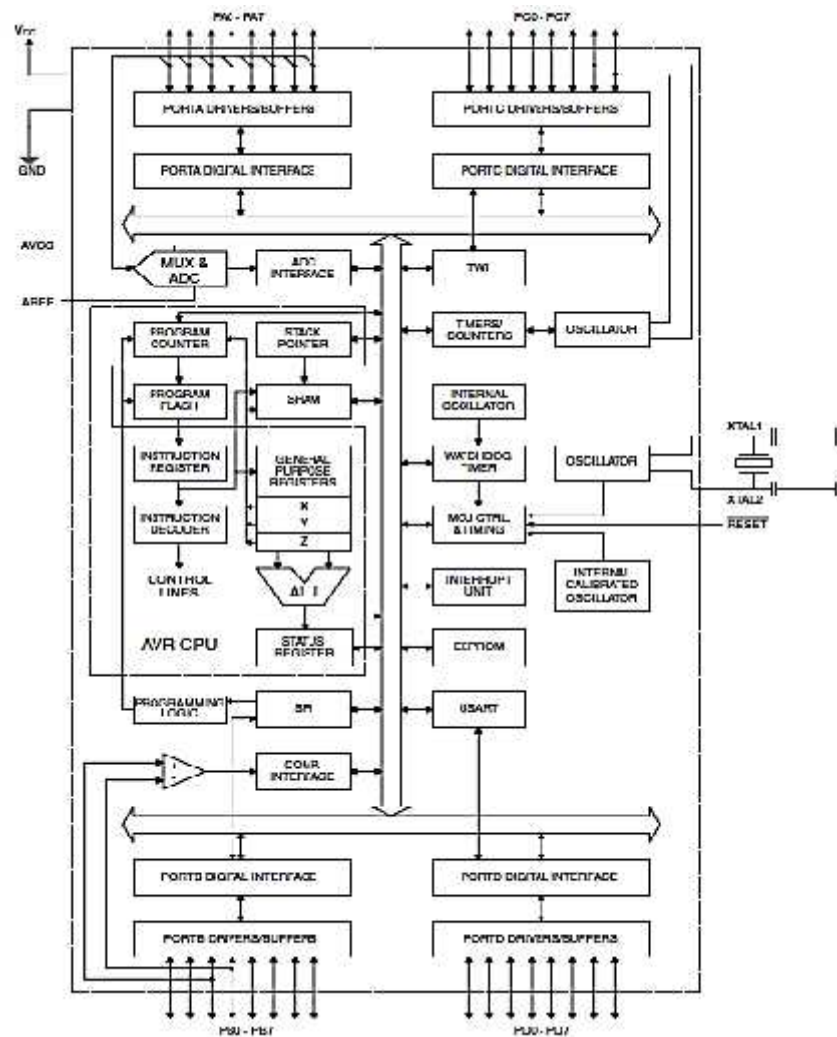
RESET : Input reset level rendah pada pin ini selama lebih dari panjang pulsa minimum akan menghasilkan reset, walaupun *Clock* sedang berjalan.

XTAL1 : Input penguat osilator inverting dan input pada rangkaian operasi *Clock* internal.

XTAL2 : Output dari penguat osilator *Inverting*.

AVCC : Pin tegangan supply untuk port A dan ADC. Pin ini harus dihubungkan ke VCC walaupun ADC tidak digunakan, maka pin ini harus dihubungkan ke VCC melalui *Low Pass Filter*.

AREF : Pin referensi tegangan analog untuk ADC.



Gambar 2.14 Blok Diagram IC ATmega32

(Sumber: Nugraha, Dhani dkk. *Jurnal Tutorial Mikrokontroler ATmega 32*, 2011)

a. Port A (PA0-PA7)

Port A berfungsi sebagai input analog ke ADC. Port A juga dapat berfungsi sebagai port I/O 8 bit *Bidirectional*, jika ADC tidak digunakan maka port dapat menyediakan resistor *Pull-Up* internal (dipilih untuk setiap bit).

b. Port B (PB0-PB7)

Port B merupakan I/O 8 bit *Bidirectional* dengan resistor *Pull-Up* internal (dipilih untuk setiap bit)

c. Port C (PC0-PC7)

Port C merupakan I/O 8 bit *Bidirectional* dengan resistor *Pull-Up* internal (dipilih untuk setiap bit).

d. Port D (PD0-PD7)

Port D merupakan I/O 8 bit *Bidirectional* dengan resistor *Pull-Up* internal (dipilih untuk setiap bit).

## **2.5. Motor Listrik BLDC (800 Watt 48VDC)**

Motor arus searah adalah sebuah motor yang membutuhkan tegangan dc untuk menjalankannya. Pada umumnya motor jenis ini menggunakan sikat dan mengoperasikannya sangat mudah tinggal dihubungkan dengan *Battery* sehingga motor langsung berputar. Jenis motor ini memerlukan perawatan pada sikatnya serta banyak terjadi rugi tegangan pada sikat. Sehingga pada era sekarang ini motor DC dikembangkan tanpa menggunakan sikat yang dikenal dengan Motor BLDC (*Brush Less Direct Current Motor*). Motor ini dipilih karena efisiensi yang tinggi, suaranya halus, ukuran kompak, keandalan yang tinggi dan perawatan yang rendah. Motor ini lebih disukai untuk berbagai aplikasi, namun kebanyakan dari mereka memerlukan kontrol tanpa sensor. Pengoperasian motor BLDC membutuhkan sensor posisi rotor untuk mengendalikan arusnya.

### **2.5.1. Pengertian BLDC Motor**

BLDC Motor (*Brush Less Direct Current Motor*) adalah suatu jenis motor sinkron, artinya medan magnet yang dihasilkan oleh stator dan medan magnet yang dihasilkan oleh rotor berputar di frekuensi yang sama. BLDC motor tidak mengalami slip, tidak seperti yang terjadi pada motor induksi biasa. Motor jenis ini mempunyai permanen magnet pada bagian rotor sedangkan elektro-magnet

pada bagian statornya. Setelah itu, dengan menggunakan sebuah rangkaian sederhana (*Simpel Computer System*), maka kita dapat merubah arus di elektro-magnet ketika bagian rotornya berputar.

Dalam hal ini, motor BLDC setara dengan motor DC dengan komutator terbalik, di mana magnet berputar sedangkan konduktor tetap diam. Dalam komutator motor DC, polaritas ini diubah oleh komutator dan sikat. Namun, dalam *Brushless* motor DC, pembalikan polaritas dilakukan oleh transistor *Switching* untuk mensinkronkan dengan posisi rotor. Oleh karena itu, BLDC motor sering menggabungkan baik posisi sensor internal atau eksternal untuk merasakan posisi rotor yang sebenarnya, atau posisi dapat dideteksi tanpa sensor (*Leonard N. Elevich, 2005*).



Gambar 2.15 Konstruksi Motor BLDC

(Sumber: <http://motor-listrik-blcd.jpg>, diakses tanggal 20 April 2015)

### 2.5.2. Konstruksi BLDC Motor

Setiap motor BLDC memiliki dua bagian utama, rotor (bagian berputar) dan stator (bagian stasioner). Bagian penting lainnya dari motor adalah gulungan stator dan magnet rotor.

#### 1. Rotor

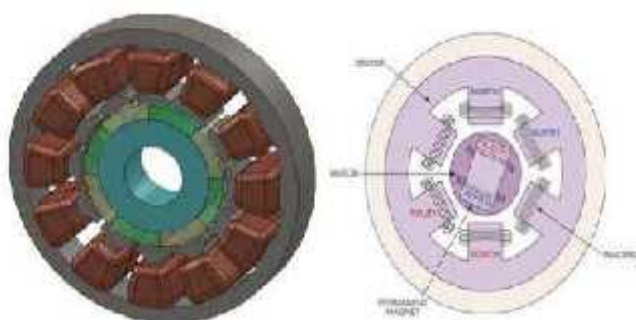
Rotor adalah bagian pada motor yang berputar karena adanya gaya elektromagnetik dari stator, dimana pada motor DC *Brushless* bagian rotornya berbeda dengan rotor pada motor DC konvensional yang hanya

tersusun dari satu buah elektromagnet yang berada diantara *Brushes* (sikat) yang terhubung pada dua buah motor hingga delapan pasang kutub magnet permanen berbentuk persegi panjang yang saling direkatkan menggunakan semacam “*Epoxy*” dan tidak ada *Brushes*-nya.

Rotor dibuat dari magnet tetap dan dapat desain dari dua sampai delapan kutub magnet utara (N) atau selatan (S). Material magnetis yang bagus sangat diperlukan untuk mendapatkan kerapatan medan magnet yang bagus pula. Biasanya magnet ferrit yang dipakai untuk membuat magnet tetap, tetapi material ini mempunyai kekurangan yaitu *Flux Density* yang rendah untuk ukuran volume material yang diperlukan untuk membentuk rotor.

## 2. Stator

Stator adalah bagian pada motor yang diam/statis dimana fungsinya adalah sebagai medan putar motor untuk memberikan gaya elektromagnetik pada rotor sehingga motor dapat berputar. Pada motor DC *Brushless* statornya terdiri dari 12 belitan (elektromagnet) yang bekerja secara elektromagnetik dimana stator pada motor DC *Brushless* terhubung dengan tiga buah kabel untuk disambungkan pada rangkaian kontrol sedangkan pada motor DC konvensional statornya terdiri dari dua buah kutub magnet permanen.



Gambar 2.16 Penampang Motor BLDC

(Sumber: Azzumar Muhammad, Jurnal Permodelan dan simulasi BLDC motor UI, 2012)

Belitan stator pada motor DC *brushless* terdiri dari dua jenis, yaitu belitan stator jenis *Trapezoidal* dan jenis *Sinusoidal*. Dasar perbedaan kedua jenis belitan stator tersebut terletak pada hubungan antara koil dan belitan

stator yang bertujuan untuk memberikan EMF (*Electro Motive Force*) balik yang berbeda.

EMF balik adalah tegangan balik yang dihasilkan oleh belitan motor BLDC ketika motor BLDC tersebut berputar yang memiliki polaritas tegangan berlawanan arahnya dengan tegangan sumber yang dibangkitkan. Besarnya EMF balik dipengaruhi oleh kecepatan sudut putaran motor ( $\omega$ ), medan magnet yang dihasilkan rotor ( $B$ ), dan banyaknya lilitan pada belitan stator ( $N$ ) sehingga besarnya EMF balik dapat dihitung dengan persamaan:

Ketika motor BLDC sudah dibuat, jumlah lilitan pada stator dan besarnya medan magnet yang dihasilkan nilainya sudah dibuat konstan sehingga yang mempengaruhi besarnya EMF balik adalah besarnya kecepatan sudut yang dihasilkan motor, semakin besar kecepatan sudut yang dihasilkan. Perubahan besarnya EMF balik ini mempengaruhi torsi motor BLDC, apabila kecepatan motor yang dihasilkan lebih besar dari tegangan potensial pada belitan stator sehingga arus yang mengalir pada stator akan turun dan torsi pun akan ikut turun, sebagaimana rumus torsi pada BLDC motor menurut persamaan diatas bahwa besarnya torsi yang dihasilkan motor BLDC.

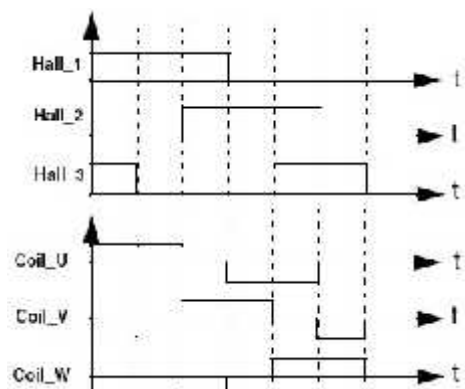
Karena berbanding lurus dengan faktor-faktor lain yang mempengaruhi torsi, maka kenaikan dan penurunan arus sangat berpengaruh pada besarnya torsi yang dihasilkan motor BLDC.

### 3. Sensor Hall

Komutasi dari motor DC *Brushless* diatur secara elektronik agar motor dapat berputar, stator harus *Energize* secara berurutan dan teratur. Sensor hall inilah yang berperan dalam mendeteksi pada bagian rotor mana yang *Energize* oleh fluks magnet sehingga proses komutasi yang berbeda (enam step komutasi) dapat dilakukan oleh stator dengan tepat karena sensor hall ini dipasang menempel pada stator.

Untuk estimasi posisi rotor, motor ini dilengkapi dengan tiga sensor hall yang ditempatkan setiap  $120^\circ$  L. Dengan sensor ini, ada 6 komutasi yang

mungkin berbeda. Pergantian *Fase Power Supply* tergantung pada nilai-nilai sensor hall dengan perubahan kumparan.



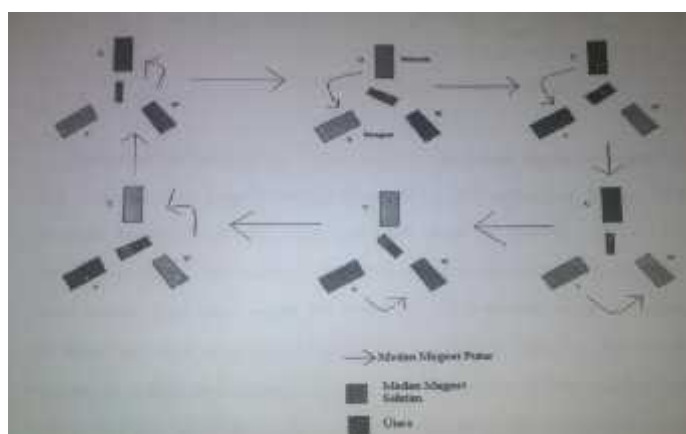
Gambar 2.17 Sensor Hall Sinyal Untuk Rotasi Kanan

(Sumber: Azzumar Muhammad, *Jurnal Permodelan dan simulasi BLDC motor UI*, 2012)

### 2.5.3. Prinsip Kerja BLDC Motor

Motor BLDC ini dapat bekerja ketika stator yang terbuat dari kumparan diberikan arus 3 fasa. Akibat arus yang melewati kumparan pada stator timbul medan magnet.

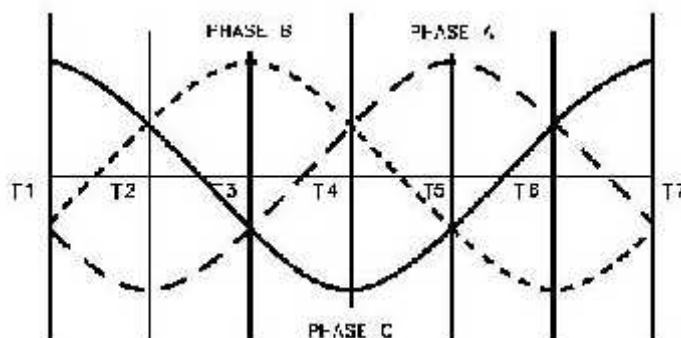
Karena arus yang diberikan berupa arus AC 3 fasa sinusoidal, nilai medan magnet dan polarisasi setiap kumparan akan berubah-ubah setiap saat. Akibat yang ditimbulkan dari adanya perubahan polarisasi dan besar medan magnet tiap kumparan adalah terciptanya medan putar magnet dengan kecepatan :



Gambar 2.18. Medan Magnet Putar Stator dan Perputaran Rotor

(Sumber: Azzumar Muhammad, *Jurnal Permodelan dan simulasi BLDC motor UI*, 2012)

Berdasarkan gambar 2.18, medan putar magnet stator timbul akibat adanya perubahan polaritas pada stator U, V, dan W. Perubahan polaritas ini terjadi akibat adanya arus yang mengalir pada stator berupa arus AC yang memiliki polaritas yang berubah-ubah.



**Ket:**

**Phase A** = - - - - -

**Phase B** = - - - - -

**Phase C** = —————

Gambar 2.19 Tegangan Stator BLDC

(Sumber: Azzumar Muhammad, *Jurnal Permodelan dan simulasi BLDC motor UI*, 2012)

Berdasarkan gambar 2.19, ketika stator U diberikan tegangan Negatif maka akan timbul medan magnet dengan polaritas negatif sedangkan V dan W yang diberikan tegangan positif akan memiliki polaritas positif. Akibat adanya perbedaan polaritas antara medan magnet kumparan stator dan magnet rotor, sisi positif magnet rotor akan berputar mendekati medan magnet stator U, sedangkan sisi negatifnya akan berputar mengikuti medan magnet stator V dan W. Akibat tegangan yang digunakan berupa tegangan AC *Sinusoidal*, medan magnet stator U, V, dan W akan berubah-ubah polaritas dan besarnya mengikuti perubahan tegangan sinusoidal AC. Ketika U dan V memiliki medan magnet negatif akibat mendapatkan tegangan negatif dan W memiliki medan magnet positif akibat tegangan positif, magnet permanen rotor akan berputar menuju ke polaritas yang bersesuaian yakni bagian negatif akan berputar menuju medan magnet stator



W dan sebaliknya bagian postif akan berputar menuju medan magnet stator U dan V. Selanjutnya ketika V memiliki medan magnet negatif dan U serta W memiliki medan magnet postif, bagian postif bagian postif magnet permanen akan berputar menuju V dan bagian negatif akan menuju U dari kumparan W. Karena tegangan AC sinusoidal yang digunakan berlangsung secara kontinu, proses perubahan polaritas tegangan pada stator ini akan terjadi secara terus menerus sehingga menciptakan medan putar magnet stator dan magnet permanen rotor akan berputar mengikuti medan putar magnet stator ini. Hal inilah yang menyebabkan rotor pada BLDC dapat berputar.

#### **2.5.4. Keunggulan BLDC Motor**

Brushless DC (BLDC) motor adalah pilihan ideal untuk aplikasi yang memerlukan keandalan yang tinggi, efisiensi tinggi, dan tinggi *Power-To-Volume* rasio. Secara umum, motor BLDC dianggap motor performa tinggi yang mampu memberikan jumlah besar torsi pada rentang kecepatan yang luas. Berikut adalah beberapa kelebihan BLDC motor dibandingkan motor jenis lainnya :

- *High Speed Operation*, sebuah motor BLDC dapat beroperasi pada kecepatan di atas 10.000 rpm dalam kondisi dimuat dan dibongkar.
- Responsif dan percepatan cepat, rotor BLDC motor memiliki inersia rotor rendah, yang memungkinkan mereka untuk mempercepat, mengurangi kecepatan, dan membalik arah dengan cepat.
- *High Power Density*, BLDC motor memiliki torsi berjalan tertinggi per inci kubik setiap motor DC.
- Keandalan tinggi, BLDC motor tidak memiliki sikat, yang berarti mereka lebih handal dan memiliki harapan hidup lebih dari 10.000 jam. Hal ini menghasilkan lebih sedikit kasus penggantian atau perbaikan secara keseluruhan.

## 2.6. Relay

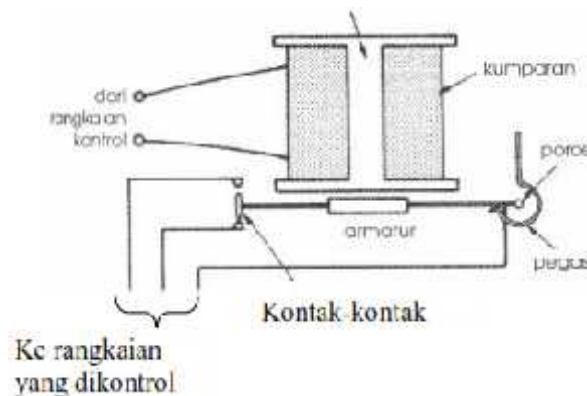


Gambar 2.20. Bentuk Fisik *Relay*

(Sumber: <http://www.produksielektronik.com/2013/10/Relay>, diakses tanggal 20 April 2015)

*Relay* adalah sebuah saklar magnetis yang dikendalikan oleh arus secara listrik. *Relay* menghubungkan rangkaian beban ON dan OFF dengan pemberian energi elektromagnetis, yang membuka atau menutup kontak pada rangkaian. (Frank D. Petruzella, 2001:371).

*Relay* memiliki sebuah kumparan tegangan-rendah yang dililitkan pada sebuah inti. Terdapat sebuah armatur besi yang akan tertarik menuju inti apabila arus mengalir melewati kumparan. Armatur ini terpasang pada sebuah tuas berpegas. Ketika armatur tertarik menuju ini, kontak jalur bersama akan berubah posisinya dari kontak normal-tertutup ke kontak normal-terbuka.



Gambar 2.21. Ilustrasi dari Sebuah *Relay*

(Sumber: Petruzella, Frank D. *Elektronika Industri* 2001)

Secara sederhana *Relay* elektromekanis ini didefinisikan sebagai berikut :

- Alat yang menggunakan gaya elektromagnetik untuk menutup (atau membuka) kontak saklar.
- Saklar yang digerakkan (secara mekanis) oleh daya/energi listrik. Dalam pemakaiannya biasanya *Relay* yang digerakkan dengan arus DC dilengkapi

dengan sebuah dioda yang di-paralel dengan lilitannya dan dipasang terbalik yaitu anoda pada tegangan (-) dan katoda pada tegangan (+). Ini bertujuan untuk mengantisipasi sentakan listrik yang terjadi pada saat *Relay* berganti posisi dari on ke off agar tidak merusak komponen di sekitarnya.

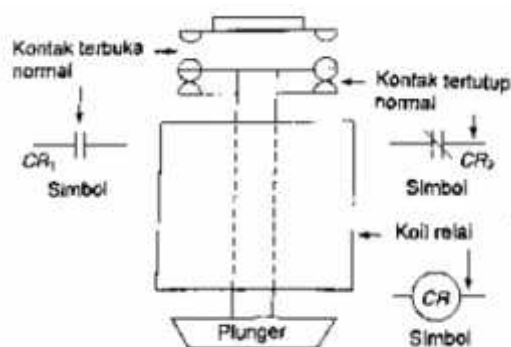
Konfigurasi dari kontak-kontak *Relay* ada tiga jenis, yaitu:

- *Normally Open* (NO), apabila kontak-kontak tertutup saat *Relay* dicatu
- *Normally Closed* (NC), apabila kontak-kontak terbuka saat *Relay* dicatu
- *Change Over* (CO), *Relay* mempunyai kontak tengah yang normal tertutup, tetapi ketika *Relay* dicatu kontak tengah tersebut akan membuat hubungan dengan kontak-kontak yang lain.

Penggunaan *Relay* perlu memperhatikan tegangan pengontrolnya serta kekuatan *Relay* memberi pilihan antara arus/tegangan. Biasanya ukurannya tertera pada *Body Relay*. Misalnya *Relay* 12VDC/4 A 220V, artinya tegangan yang diperlukan sebagai pengontrolnya adalah 12Volt DC dan mampu memberi arus listrik (maksimal) sebesar 4 ampere pada tegangan 220 Volt. Sebaiknya *Relay* difungsikan 80% saja dari kemampuan maksimalnya agar aman, lebih rendah lagi lebih aman. *Relay* jenis lain ada yang namanya *Reed Switch* atau *Relay* lidi. *Relay* jenis ini berupa batang kontak terbuat dari besi pada tabung kaca kecil yang dililitin kawat. Pada saat lilitan kawat dialiri arus, kontak besi tersebut akan menjadi magnet dan saling menempel sehingga menjadi saklar yang on. Ketika arus pada lilitan dihentikan medan magnet hilang dan kontak kembali terbuka (off).

*Relay* pengendali elektromekanis (*Electromechanical relay* = EMR ) adalah saklar magnetis. *Relay* ini menghubungkan rangkaian beban ON atau OFF dengan pemberian elektromagnetis, yang membuka atau menutup kontak pada rangkaian. EMR mempunyai variasi aplikasi yang luas baik pada rangkaian listrik maupun elektronis. Misalnya EMR dapat digunakan pada control dari kran-daya cairan dan dibanyak control urutan mesin, misalnya operasi pemboran (tanah), pemboran (pelat), penggilingan dan pengerindaan.

*Relay* biasanya hanya mempunyai satu kumparan, tetapi *Relay* dapat mempunyai beberapa kontak. Jenis EMR diperlihatkan pada Gambar 2.22. *Relay* elektromekanis berisi kontak diam dan kontak bergerak. Kontak yang bergerak dipasangkan pada plunger. Kontak ditunjuk sebagai *normally open* (NO) dan *normally close* (NC). Apabila kumparan diberi tenaga, terjadi medan elektromagnetis. Aksi dari medan pada gilirannya menyebabkan plunger bergerak pada kumparan menutup kontak NO dan membuka kontak NC. Jarak gerak *plunger* biasanya pendek – sekitar  $\frac{1}{4}$  in atau kurang.



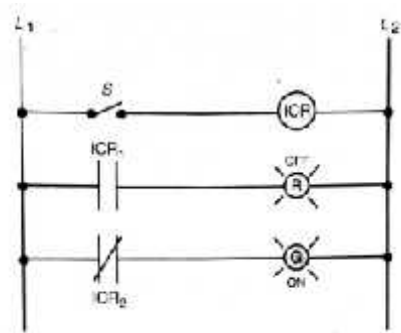
Gambar 2.22 *Relay* elektromekanis (electromechanical relay = EMR )

(Sumber: Petruzella, Frank D. *Elektronika Industri* 2001)

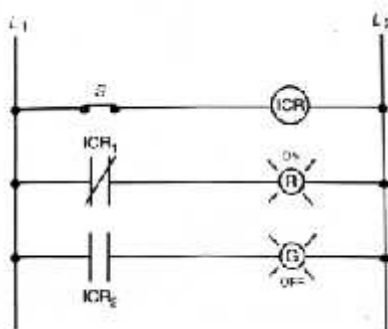
Kontak normally open akan membuka ketika tidak ada arus mengalir pada kumparan, tetapi tertutup secepatnya setelah kumparan menghantarkan arus atau diberi tenaga. Kontak normally close akan tertutup apabila kumparan tidak diberi daya. Masing-masing kontak biasanya digambarkan sebagai kontak yang tampak dengan kumparan tidak diberi daya. Sebagian besar *Relay* control mesin mempunyai beberapa ketentuan untuk pengubahan kontak normally open menjadi normally closed, atau sebaliknya. Itu berkisar dari kontak sederhana "flip-over" untuk melepaskan kontak dan menempatkan kembali dengan perubahan lokai pegas.

Banyak EMR yang mempunyai beberapa perangkat kontak yang dioperasikan dengan kumparan tunggal. Misalnya *Relay* yang digunakan untuk mengontrol beberapa operasi penghubung dengan arus tunggal terpisah. Tipe *Relay* control yang digunakan untuk mengontrol dua lampu tanpa diperlihatkan pada Gambar 2.23. Dengan saklar membuka kumparan ICR dihilangkan tenaganya.

Rangkaian pada lampu pilot hijau terhubung melalui kontak NC ICR 2, sehingga lampu tersebut akan menyala. Pada saat yang sama rangkaian pada lampu pilot merah terbuka melalui kontak NO ICR 1, sehingga lampu tersebut akan padam. Kalau saklar tertutup, kumparan diberi tenaga. Kontak NO ICR 1 menutup pada switch lampu pilot merah menyala. Pada waktu yang sama, NC ICR 2 membuka untuk menghidupkan lampu pilot hijau.



a. Saklar membuka – koil tidak diberi energy



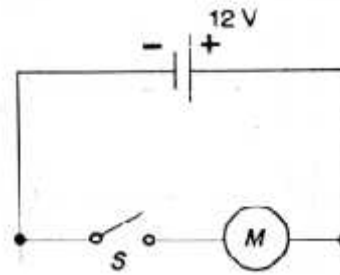
b. Saklar menutup – koil diberi energy

Gambar 2.23 *Relay* yang digunakan untuk mengontrol beberapa operasi penghubung dengan arus tunggal terpisah

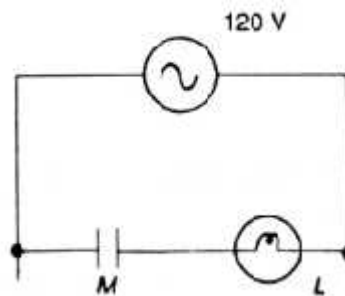
(Sumber: Petruzella, Frank D. *Elektronika Industri* 2001)

Pada umumnya *Relay* kontrol digunakan sebagai alat pembantu untuk kondisi penghubungan rangkaian dan beban. Misalnya, motor kecil, solenoid, dan lampu pilot. EMR dapat digunakan untuk mengontrol rangkaian beban tegangan tinggi dengan rangkain kontrol tegangan rendah. Ini memungkinkan sebuah kumparan dan kontak dari *Relay* secara listrik terisolasi satu sama lain. Dari segi keamanan, rangkaian tersebut mempunyai perlindungan ekstra bagi operator. Misalnya, anggap bahwa anda ingin menggunakan *Relay* untuk mengontrol

rangkaian lampu 120 V dengan rangkaian kontrol 12 V. Lampu akan dirangkai seri dengan kontak *Relay* pada sumber 120 V (Gambar 2.24). Saklar akan dirangkai seri terhadap kumparan *Relay* pada sumber 12 V. pengoperasian saklar adalah dengan memberi energi atau menghilangkan energi kumparan. Hal ini pada gilirannya akan menutup atau membuka kontak pada saklar ON atau OFF lampu.



Rangkaian control

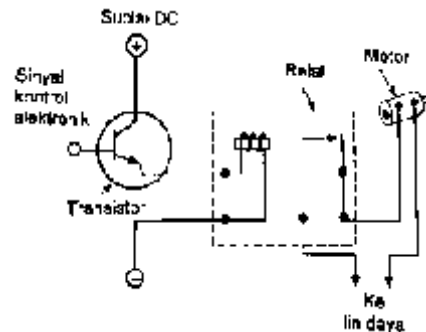


Rangkaian beban

Gambar 2.24 penggunaan *Relay* untuk mengontrol rangkaian beban tegangan tinggi dengan rangkaian kontrol tegangan-rendah  
(Sumber: Petruzella, Frank D. *Elektronika Industri* 2001)

Aplikasi pokok *Relay* yang lain adalah untuk mengontrol rangkaian beban arus tinggi dengan rangkaian control arus rendah. Hal ini memungkinkan karena arus yang dapat ditangani oleh kontak dapat jauh lebih besar dibandingkan dengan yang diperlukan untuk mengoperasikan kumparan. Kumparan *Relay* mampu dikontrol dengan sinyal arus rendah dari rangkainya terpadu dan transistor seperti diperlihatkan pada gambar 2.25. Pada rangkain tersebut, sinyal control elektronik menghidupkan atau mematikan transistor yang pada gilirannya menyebabkan kumparan *Relay* diberi energy atau dihilangkan energinya. Arus pada rangkain control yang terdiri dari transistor dan kumparan *Relay* sangat kecil. Arus pada

rangkaian daya, terdiri dari kontak-kontak dan motor kecil, jauh lebih besar dalam perbandingan.



Gambar 2.25 Penggunaan *Relay* untuk mengontrol rangkaian beban arus tinggi dengan rangkaian control arus rendah

(Sumber: Petruzella, Frank D. *Elektronika Industri* 2001)

Level tegangan pada kumparan *Relay* yang diberi energi, menyebabkan penghubung kontak yang disebut tegangan pick – up (tegangan tarik). Setelah *Relay* diberi energi, level tegangan pada kumparan *Relay* dimana kontak kembali pada kondisi tidak dioperasikan disebut tegangan “drop out” (tegangan lepas). Kumparan *Relay* dirancang untuk tidak lepas sampai penurunan tegangan pada penurunan tegangan minimum sekitar 85% dari tegangan kerja. Kumparan *Relay* juga tidak akan menarik (memberi energi) sampai tegangan meningkat pada 85% tegangan kerja. Pada umumnya kumparan akan beroperasi terus menerus pada 110% dari tegangan kerja, tanpa merusakkan kumparan. Kumparan *Relay* sekarang dibuat dari kontruksi cetakan. Hal ini membantu mengurangi penyerapan kelembaban dan meningkatkan kekuatan mekanis.

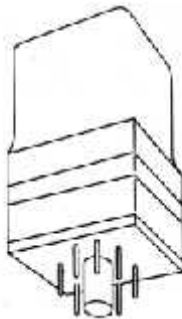
Ada juga perbedaan arus pada kumparan *Relay* pada waktu kumparan pertama kali diberi energi dengan ketika kontak dioperasikan secara penuh. Ketika kumparan diberi energi, plunger keluar dari posisinya. Karena celah yang terbuka pada rangkaian (lintasan magnet), arus pertamakali pada kumparan adalah besar. Level arus pada waktu itu disebut arus “in rush” atau arus kejut. Pada saat plunger bergerak ke kumparan, menutup celah, level arus turun pada harga yang lebih rendah. Harga yang lebih rendah itu disebut arus segel (sealed). Arus kejut hampir 6 sampai 8 kali arus segel.

*Relay* elektronimekanis dibuat dalam berbagai jenis untuk berbagai aplikasi. Kumputan relay dan kontak mempunyai ukuran kerja yang terpisah. Kumputan *Relay* biasanya dirancang bekerja pada pengoperasian dengan arus dc atau ac, tegangan arus, tahan dan daya pengoperasian normal.

Kumputan relay yang sangat peka yang dirancang untuk bekerja pada rentang miliampere rendah, sering dioperasikan dari transistor atau rangkaian terpadu. Gambar 2.26 (a) memperlihatkan suatu *Relay* jenis terbuka, tidak dikemas kontak, kumputan dan semua bagian yang bergerak ditunjukkan dan sehingga dapat dilihat. Dengan *Relay* jenis yang dikemas, tutup plastic menahan kontak sehingga tidak diekspos pada lingkungan yang korosif. Jenis steker yang diperlihatkan pada gambar 2.26 (b) dapat diubah tanpa mengganggu pengawatan rangkaian. Apabila *Relay* digunakan pada suatu aplikasi, maka langkah pertama adalah harus menentukan tegangan control ( kumputan ) pada *Relay* yang akan bekerja. Terdapat kumputan yang mencakup sebagian besar tegangan standar.



(a).*Relay* control industry control



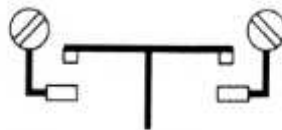
(b).*Relay* jenis tertutup

Gambar 2.26 *Relay* pengendali

(Sumber: Petruzella, Frank D. *Elektronika Industri* 2001)



*Relay* berbeda dalam jumlah dan susunan kontak. Meskipun ada beberapa kontak “single break” yang digunakan pada real industri, sebagian *Relay* yang digunakan pada control peralatan mesin mempunyai kontak “double break”(Gambar 2.27). Sebuah kontak memantul pada saat penutupan, dan pada *Relay* pengoperasian cepat, hal ini dapat menjadi sumber masalah. Penggunaan kontak “double break” mengurangi masalah.



(a) Kontak “double break” terbuka pada dua titik



(b) Kontak “single break” terbuka pada satu titik

Gambar 2.27 Susunan kontak *Relay*

(Sumber: Petruzella, Frank D. *Elektronika Industri* 2001)

Spesifikasi kontak *Relay* yang paling penting adalah ukuran kerja arusnya. Ini menunjukkan besarnya arus maksimum yang dapat ditangani kontak. Tiga ukuran kerja arus umumnya adalah:

- “*In rush*” atau “kapasitas menghubungkan kontak.”
- Kapasitas normal atau kapasitas mengalirkan terus – menerus.
- Kapasitas membuka atau kapasitas memutuskan.

Kontak juga dirancang untuk kemampuan kerja level maksimum tegangan ac atau dc yang dapat beroperasi. Oleh karena itu, sebagian besar *Relay* yang digunakan pada rangkaian kontrol yang ukuran kerja kontaknya lebih rendah (0 sampai dengan 15 A maksimum pada 600 V), menunjukkan level arus yang dikecilkan pada tempat mereka bekerja. Meskipun *Relay* kontrol dari berbagai pabrik system pengawatan control jika spesifikasinya cocok dengan permintaan sistem.

Sebagian besar kontak pada saat ini dibuat dari campuran perak dibandingkan dari tembaga. Bahan ini digunakan karena konduktivitas perak yang bagus. Meskipun kontak kelihatan jelek atau bernoda, namun kontak-kontak tersebut masih dapat beroperasi dengan normal.

### **2.6.1. RELAY SOLID – STATE**

Setelah melakukan tugas penghubung selama beberapa decade, EMR sekarang digantidalam beberapa aplikasi dengan jenis baru dari *Relay*, *Relay solid state* (solid – state *Relay* = SSR) (Gambar 2.28). Meskipun EMR dan *Relay solid state* dirancang untuk melakukan tugas yang sama, masing-masing mencapai hasil akhir dengan cara yang berbeda. Tidak seperti EMRS, SSR tidak mempunyai kumparan dan kontak sesungguhnya. Sebagai pengganti, digunakan alat penghubungan semikonduktor seperti transistor bipolar, MOSFET, SCR, atau triac. *Relay solid state* tidak mempunyai bagian yang berputar, *Relay* tersebut tahan terhadap guncangan dan getaran serta ditutup rapat terhadap kotoran dan kelembaban.

Seperti EMR, SSR merupakan aplikasi pada pengisolasian rangkaian kontrol tegangan rendah dari rangkaian beban daya tinggi. Diagram blok dari *Relay solid state* yang dirangkai secara optis diperlihatkan pada gambar 2.28. Diode yang memancarkan cahaya (LED) yang dihubungkan pada rangkaian input menyala mengeluarkan cahaya apabila kondisi pada rangkaian benar-benar untuk mengaktifkan *Relay*.

Cahaya led pada foto transistor, yang kemudian menghantar, menyebabkan arus trigger diberikan pada triac. Jadi, output terisolasi dari input dengan LED sederhana dan susunan fototransistor, persis seperti electromagnet terisolasi dengan input dari kontak penghubungan pada EMR konvensional. Karena sorotan sinar digunakan sebagai medium kontrol, maka tidak ada tegangan naik atau desah listrik yang dihasilkan pada sisi beban dari *Relay* yang dapat dikirimkan pada sisi kontrol *Relay*. Paling sering, pendekatan kotak-hitam digunakan untuk memberi simbol SSR. Kuadrat atau bujur sangkar akan digunakan pada skema

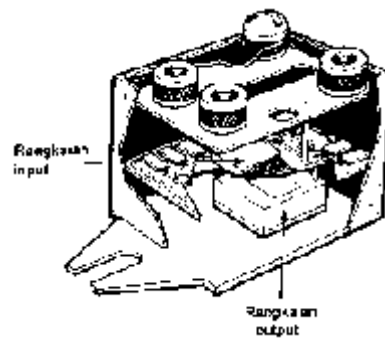
untuk menyajikan *Relay*. Rangkaian internal tidak akan diperlihatkan hanya hubungan input dan output pada kotak yang akan diberikan.



(a) Papan ganjalan rangkaian tercetak



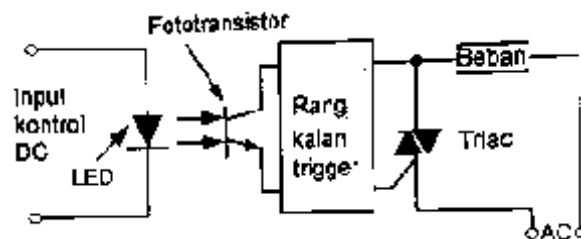
(b) Ganjalan sekat



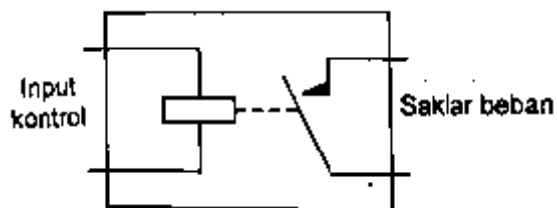
(c) Kontruksi internal

Gambar 2.28 *Relay solid state (Solid State Relay = SSR)*

(Sumber: Petruzella, Frank D. *Elektronika Industri* 2001)



(a) Rangkaian internal



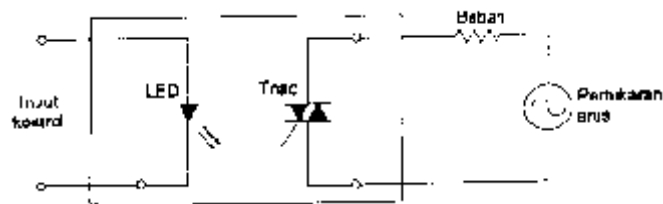
(b) Symbol skematik

Gambar 2.29 SSR yang dirangkai secara optis  
(Sumber: Petruzella, Frank D. *Elektronika Industri* 2001)

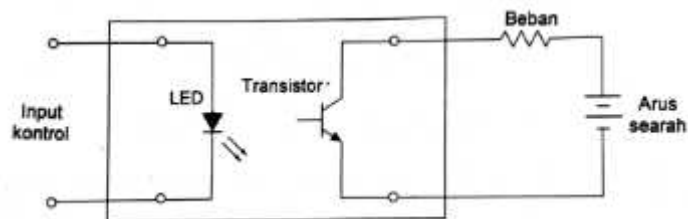
*Relay Solid State* dapat digunakan untuk mengontrol beban ac atau dc (Gambar 2.29). Jika *Relay* dirancang mengontrol beban ac, digunakan triac untuk menghubungkan beban dengan lin. *Relay solid state* dimaksudkan untuk digunakan sebagai pengontrol dc, mempunyai transistor daya dibandingkan dengan triac yang dihubungkan pada rangkaian beban. Apabila tegangan input hidup, Led detektor foto yang dihubungkan pada basis transistor nmenghidupkan transistor dan menghubungkan beban dengan lin.

Tegangan kontrol untuk SSR dapat arus searah atau bolak-balik, dan biasanya berkisar antara 3 sampai 32 V untuk versi dc dan 80 dan 280 V untuk versi ac. Ampere rangkaian beban maksimum mencapai 50 A dalam mungkin pada ukuran kerja dengan lin 120, 240, dan 480 Vac. Pada sebagian besar aplikasi, SSR digunakan sebagai perantara antara rangkaian control tegangan rendah dengan tegangan lin ac yang lebih tinggi.

Banyak SSR yang digunakan untuk mengontrol beban ac mempunyai keistimewaan yang disebut penghubungan nol (Gambar 2.30). Penghubungan nol menjamin bahwa *Relay* hidup atau mati pada permulaan gelombang tegangan ac pada titik cross open nol. Penghubungan tngangan nol sering dibutuhkan untuk memperkecil arus kejut dan interfrensi frekuensi radio (Radio Frequency Interference = RFI).



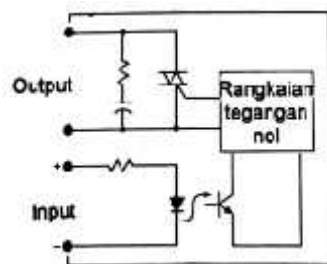
(a) Triac digunakan untuk mengontrol beban ac



(b) Transistor daya digunakan untuk mengontrol beban dc

Gambar 2.30 Pengontrol beban AC dan DC

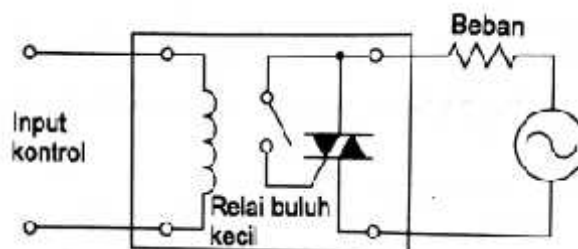
(Sumber: Petruzella, Frank D. *Elektronika Industri* 2001)



Gambar 2.31 Penghubungan nol

(Sumber: Petruzella, Frank D. *Elektronika Industri* 2001)

Juga ada *SSR hybrid* yang menggabungkan *Relay* buluh kecil untuk bertindak sebagai alat yang mengaktifkan (Gambar 2.31). Perangkat kecil dari kontak buluh dihubungkan pada gerbang triac. Rangkaian control dihubungkan pada kumparan *Relay* buluh. Ketika kumparan diberi tenaga oleh arus control, dihasilkan medan magnet disekitar kumparan dari relay. Medan magnet ini menutup kontak buluh yang menyebabkan triac hidup. Pada jenis *SSR* ini, medan magnet lebih banyak menggunakan sorotan sinar untuk mengisolasi rangkaian control dari beban.



Gambar 2.32 *Relay solid-state hybrid* penggabungan dengan *Relay buluh kecil*  
(Sumber: Petruzella, Frank D. *Elektronika Industri* 2001)

SSR mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan dengan EMR. SSR lebih terpercaya dan mempunyai umur pemakaian yang lebih panjang karena SSR tidak mempunyai bagian yang berputar; dapat digabungkan dengan rangkaian transistor dan sirkuit ic, serta tidak menimbulkan banyak interferensi elektromagnetis. SSR lebih tahan terhadap guncangan dan terhadap getaran, mempunyai waktu respon yang lebih cepat dan tidak memperlihatkan kontak yang memantul.

Seperti pada setiap alat, SSR mempunyai beberapa keuntungan. SSR terdiri dari semikonduktor yang mudah rusak oleh tegangan dan arus yang tajam. Tidak seperti pada kontak EMR, penghubungan semikonduktor SSR mempunyai tahanan ON state dan arus bocor OFF state yang signifikan.

## 2.7 Sensor Arus ACS712

ACS712 adalah sensor arus yang bekerja berdasarkan efek medan. Sensor arus ini dapat digunakan untuk mengukur arus AC atau DC. Modul sensor ini telah dilengkapi dengan rangkaian penguat operasional, sehingga sensitivitas pengukuran arusnya meningkat dan dapat mengukur perubahan arus yang kecil. Sensor ini digunakan pada aplikasi-aplikasi di bidang industri, komersial, maupun komunikasi. Contoh aplikasinya antara lain untuk sensor kontrol motor, deteksi dan manajemen penggunaan daya, sensor untuk catu daya tersaklar, sensor proteksi terhadap arus lebih, dan lain sebagainya.

Berikut ini adalah karakteristik dari sensor arus ACS712 :

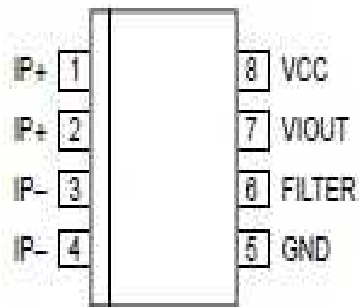
- Memiliki sinyal analog dengan sinyal-gangguan rendah (*low-noise*)

- Ber-*bandwidth* 80 kHz
- Total output error 1.5% pada  $T_a = 25^\circ\text{C}$
- Memiliki resistansi dalam 1.2 m
- Tegangan sumber operasi tunggal 5.0V
- Sensitivitas keluaran: 66 sd 185 mV/A
- Tegangan keluaran proporsional terhadap arus AC ataupun DC
- Fabrikasi kalibrasi
- Tegangan *offset* keluaran yang sangat stabil
- Hysterisis akibat medan magnet mendekati nol
- Rasio keluaran sesuai tegangan sumber



Gambar 2.33 Kemasan dari IC ACS712

(sumber : <http://depokinstruments.com>)



Gambar 2.34 Konfigurasi Pin dari IC ACS712

(sumber : <http://depokinstruments.com>)

Tabel 2.2 dibawah ini menunjukkan konfigurasi tiap-tiap pin pada IC ACS712 beserta fungsinya.

Tabel 2.2 Konfigurasi Pin Sensor ACS712

Pin Sensor ACS712	Fungsi
IP +	Terminal yang mendeteksi arus, terdapat sekring di dalamnya
IP -	Terminal yang mendeteksi arus, terdapat sekring di dalamnya
GND	Terminal sinyal <i>ground</i>
FILTER	Terminal untuk kapasitor eksternal yang berfungsi sebagai pembatas <i>bandwith</i>
VIout	Terminal keluaran sinyal analog
Vcc	Terminal masukan catu daya

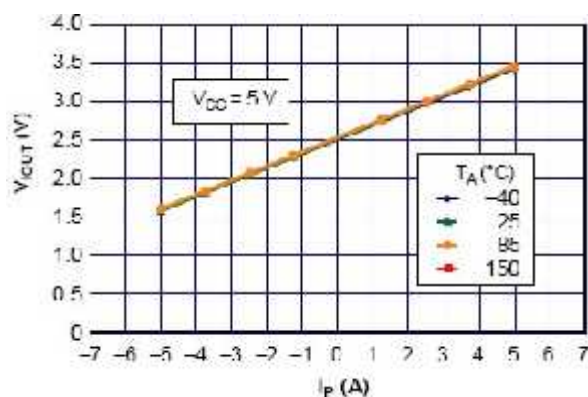
Berikut adalah tabel pembacaan dari berbagai tipe IC ACS712 terhadap jangkauan dan sensitivitas pada masing-masing IC ACS712.

Tabel 2.3 Tipe-tipe IC ACS712

Part Number	Ta (°C)	Jangkauan	Sensitivitas (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	-40 to 85	±30	66

Pada saat tidak ada arus yang terdeteksi, maka keluaran sensor adalah 2,5 V. Dan saat arus mengalir dari IP+ ke IP-, maka keluaran akan >2,5 V. Sedangkan ketika arus listrik mengalir terbalik dari IP- ke IP+, maka keluaran akan <2,5 V. Berikut adalah grafik perbandingan tegangan keluaran terhadap arus listrik.

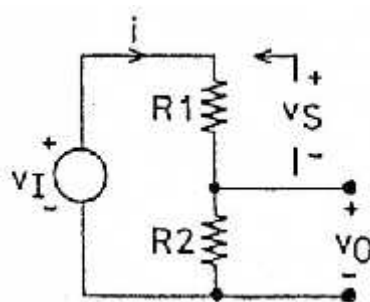




Gambar 2.35 Grafik Tegangan Keluaran Sensor ACS712 Terhadap Arus Listrik  
(sumber : <http://depokinstruments.com>)

## 2.8 Voltage Divider

Rangkaian pembagi tegangan biasanya digunakan untuk membuat suatu tegangan referensi dari sumber tegangan yang lebih besar, titik tegangan referensi pada sensor, untuk memberikan bias pada rangkaian penguat atau untuk memberi bias pada komponen aktif. Rangkaian pembagi tegangan pada dasarnya dapat dibuat dengan 2 buah resistor, contoh rangkaian dasar pembagi tegangan dengan output  $V_O$  dari tegangan sumber  $V_I$  menggunakan resistor pembagi tegangan  $R_1$  dan  $R_2$  seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.36. Rangkaian Dasar Pembagi Tegangan  
(Sumber: <http://repository.usu.ac.id/Chapter%20II.pdf>)

Dari rangkaian pembagi tegangan diatas dapat dirumuskan tegangan output  $V_O$ . Arus ( $I$ ) mengalir pada  $R_1$  dan  $R_2$  sehingga nilai tegangan sumber  $V_I$  adalah

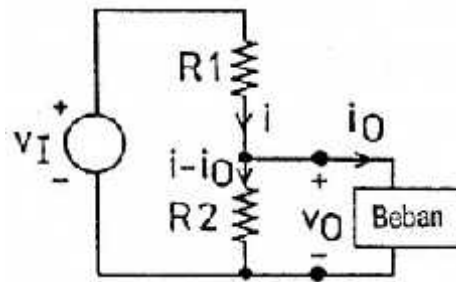
penjumlahan  $V_S$  dan  $V_O$  sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$V_I = V_S + V_O = i \cdot R_1 + i \cdot R_2$$

Nampak bahwa tegangan masukan terbagi menjadi dua bagian ( $v$ ,  $v$ ), masing-masing sebanding dengan harga resistor yang dikenai tegangan tersebut. Sehingga besarnya  $V_O$  dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$V_O = V_I \cdot \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

$$V_O = V_I \cdot$$



Gambar 2.37 Rangkaian Pembagi Tegangan Terbebani

(Sumber: <http://repository.usu.ac.id/Chapter%20II.pdf>)

Gambar rangkaian pembagi tegangan diatas memperlihatkan suatu pembagi tegangan dengan beban terpasang pada terminal keluarannya, mengambil arus  $i_0$  dan penurunan tegangan sebesar  $v_0$ . Kita akan mencoba menemukan hubungan antara  $i_0$  dan  $v_0$ .