

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, 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 i 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.

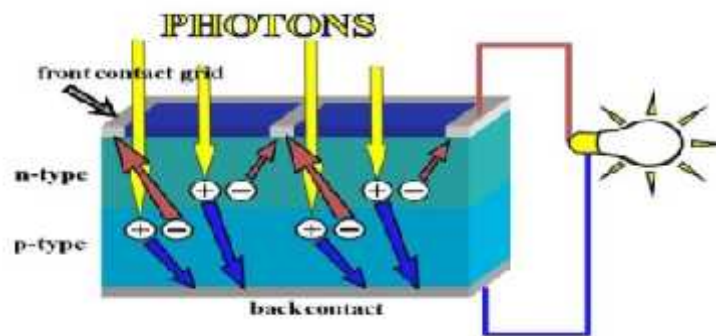
Spesifikasi keseluruhan dari *Solar Cell* yang digunakan adalah:

- 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

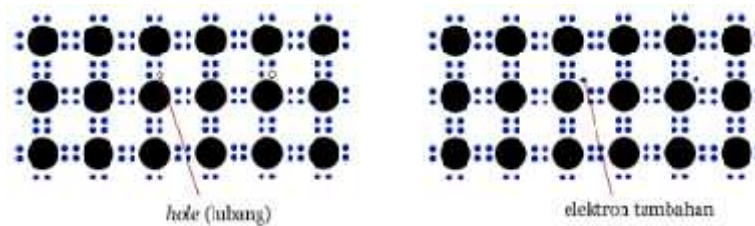
Solar Cell merupakan suatu perangkat semi konduktor yang dapat menghasilkan listrik jika diberikan sejumlah energi cahaya. Proses penghasilan energi listrik terjadi jika pemutusan ikatan elektron pada atom-atom yang tersusun dalam kristal semikonduktor ketika diberikan sejumlah energi. Salah satu bahan 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



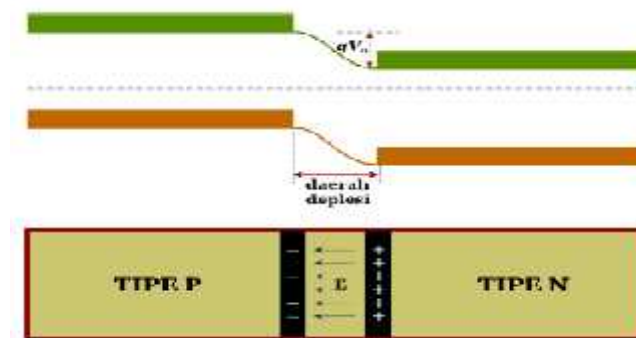
Gambar 2.5 Semikonduktor Tipe-P (Kiri) dan Tipe-N (Kanan)

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

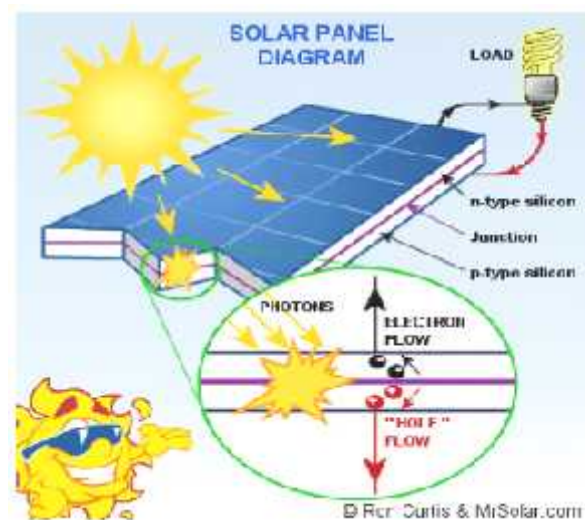
Ketika suatu kristal *Silicon* ditambahkan dengan unsur golongan kelima, misalnya arsen, maka atom-atom arsen itu akan menempati ruang diantara atom-atom silikon yang mengakibatkan munculnya elektron bebas pada material campuran tersebut. Elektron bebas tersebut berasal dari kelebihan elektron yang dimiliki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

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

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, 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

2.2.5.1 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.

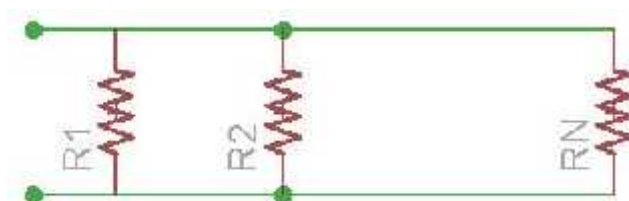
$$U_{\text{total}} = U_1 + U_2 + U_3 + U_n \dots \dots \dots (1)$$

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

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

2.2.5.2. 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).

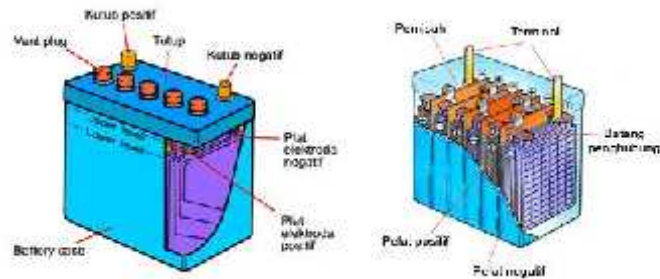
Akan tetapi, tidak seperti elemen primer, elemen sekunder dapat dimuati kembali berulang kali. Elemen sekunder ini lebih dikenal dengan *Accu*. Dalam sebuah *Accu* berlangsung proses elektrokimia yang reversibel (bolak-balik) dengan efisiensi yang tinggi. Yang dimaksud dengan proses elektrokimia reversibel 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).

2.3.1 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, munculah arus listrik.



Gambar 2.10 Sel Accu

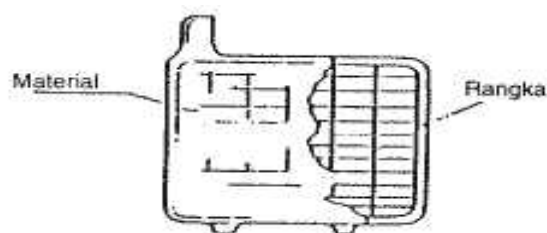
(Sumber: id.m.wikipedia.org/akumulator, diakses terakhir tanggal 17 April 2015)

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.

2.3.2 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).

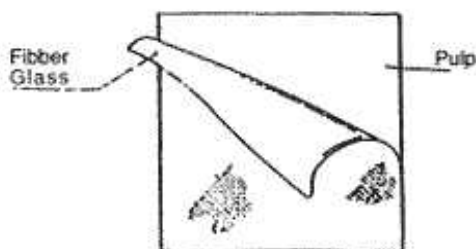


Gambar 2.11 Plat Sel Accu

(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*.

2.4. 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

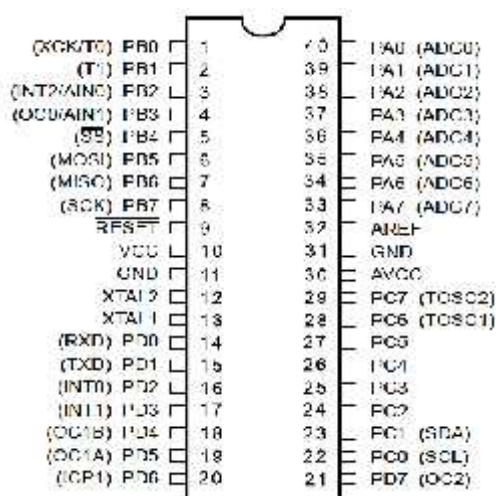
Beberapa fasilitas yang dimiliki oleh Mikrokontroler ATmega32 adalah sebagai berikut: (*hal 9, Jurnal Tutorial Mikrokontroler ATmega 32*)

- 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 ATmega8535 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 ATmega8535 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*

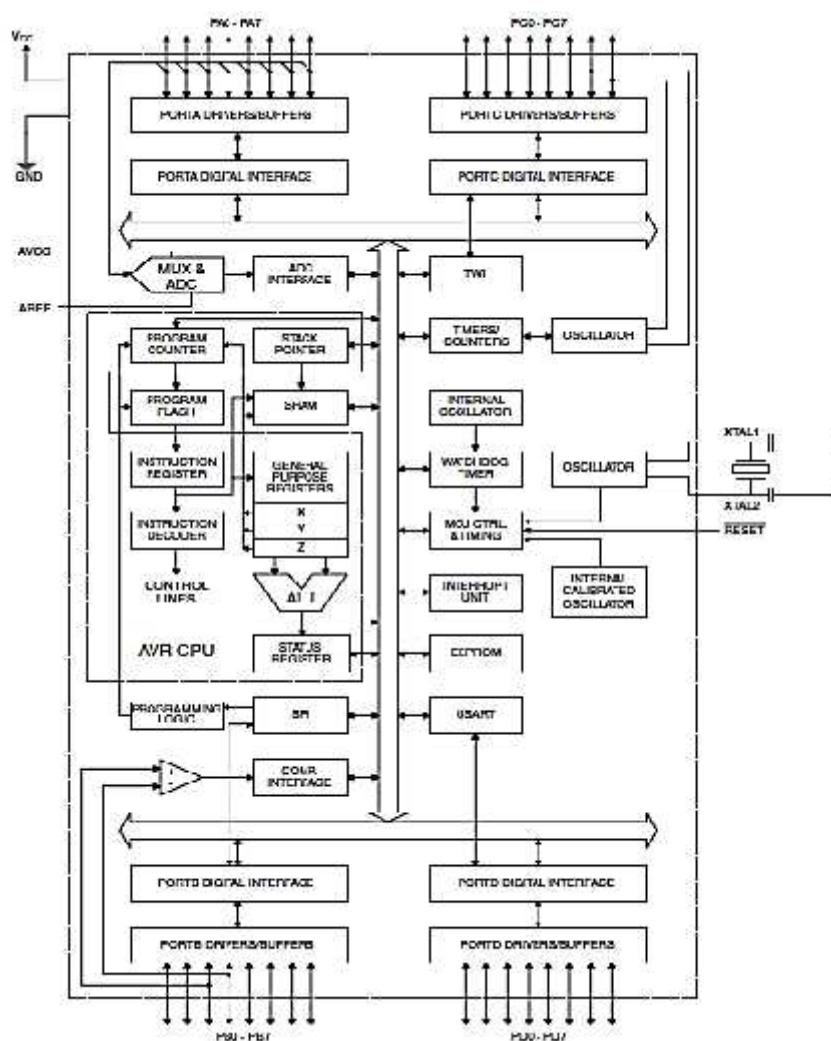
RESET : Input reset level rendah pada pin ini selama lebih dari panjang pulsa minimum akan menghasilkan reset, walaupun *Clock* sedang berjalan.

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 analoag 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).

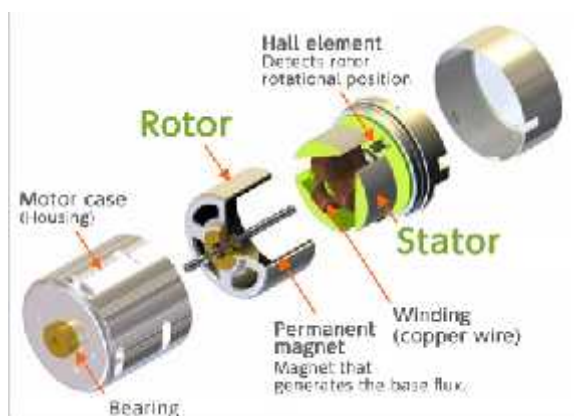
2.5. Motor Listrik BLDC (800 Watt 48VDC)

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. Elevation, 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.

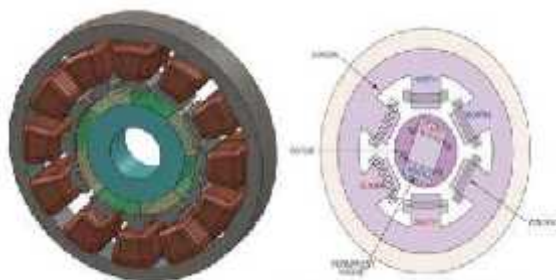
1. Rotor

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 (ω), medan magnet yang dihasilkan rotor (B), dan banyaknya lilitan pada belitan stator (N) sehingga besarnya EMF balik dapat dihitung dengan persamaan:

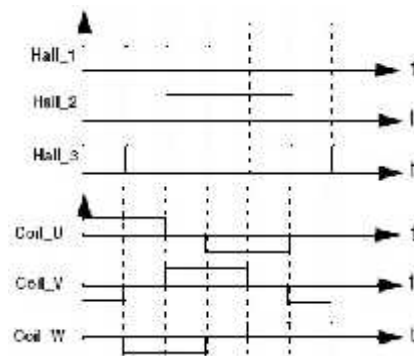
Ketika motor BLDC sudah dibuat, jumlah lilitan pada stator dan besarnya medan magnet yang dihasilkan nilainya sudah dibuat konstan sehingga yang mempengaruhi besarnya EMF balik adalah besarnya kecepatan sudut yang dihasilkan motor, semakin besar kecepatan sudut yang dihasilkan. Perubahan besarnya EMF 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° L. Dengan sensor ini, ada 6 komutasi yang mungkin berbeda. Pergantian *Fase Power Supply* tergantung pada nilai-nilai sensor hall dengan perubahan kumparan.



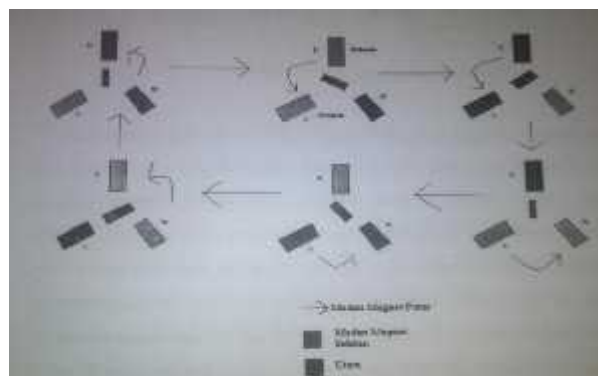
Gambar 2.17 Sensor Hall Sinyal Untuk Rotasi Kanan

(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.

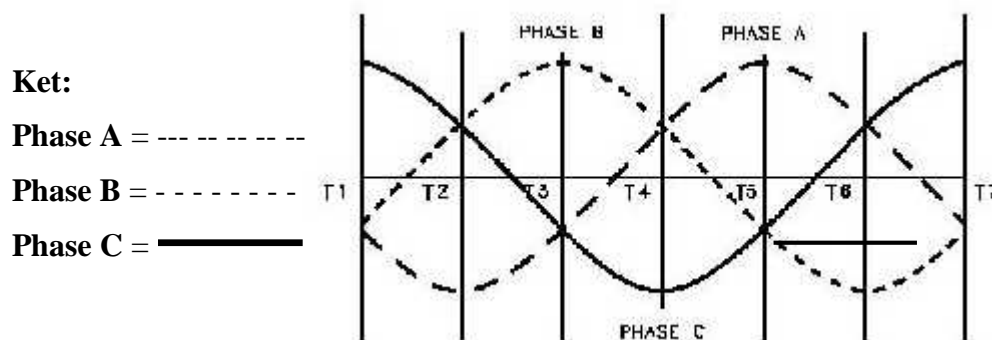
Karena arus yang diberikan berupa arus AC 3 fasa sinusoidal, nilai medan magnet dan polarisasi setiap kumparan akan berubah-ubah setiap saat. Akibat yang ditimbulkan dari adanya perubahan polarisasi dan besar medan magnet tiap kumparan adalah terciptanya medan putar magnet dengan kecepatan :



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.



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 positif akan berputar menuju medan magnet stator U dan V. Selanjutnya ketika V memiliki medan magnet negatif dan U serta W memiliki medan magnet positif, bagian positif bagian positif 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 :

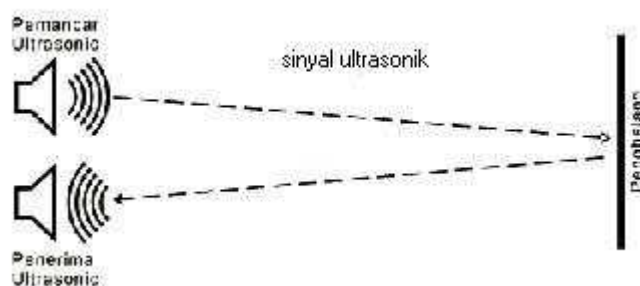
- *High Speed Operation*, sebuah motor BLDC dapat beroperasi pada kecepatan di atas 10.000 rpm dalam kondisi dimuat dan dibongkar.
- Responsif dan percepatan cepat, rotor BLDC motor memiliki inersia rotor rendah, yang memungkinkan mereka untuk mempercepat, mengurangi kecepatan, dan membalik arah dengan 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. Sensor Ultrasonik

Gelombang ultrasonik adalah gelombang dengan besar frekuensi diatas frekuensi gelombang suara yaitu lebih dari 20 KHz. Seperti telah disebutkan bahwa sensor ultrasonik terdiri dari rangkaian pemancar ultrasonik yang disebut transmitter dan rangkaian penerima ultrasonik yang disebut *receiver*. Sinyal ultrasonik yang dibangkitkan akan dipancarkan dari *transmitter* ultrasonik.

Ketika sinyal mengenai benda penghalang, maka sinyal ini dipantulkan, dan diterima oleh *receiver* ultrasonik. Sinyal yang diterima oleh rangkaian receiver dikirimkan ke rangkaian mikrokontroler untuk selanjutnya diolah untuk menghitung jarak terhadap benda di depannya (bidang pantul).

Prinsip kerja dari sensor ultrasonik dapat ditunjukkan dalam gambar dibawah ini :



Gambar 2.20 Sistem kerja sensor Ultrasonik

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

Prinsip kerja dari sensor ultrasonik adalah sebagai berikut :

Sinyal dipancarkan oleh pemancar ultrasonik. Sinyal tersebut berfrekuensi diatas 20 KHz, biasanya yang digunakan untuk mengukur jarak benda adalah 40 KHz. Sinyal tersebut di bangkitkan oleh rangkaian pemancar ultrasonik.

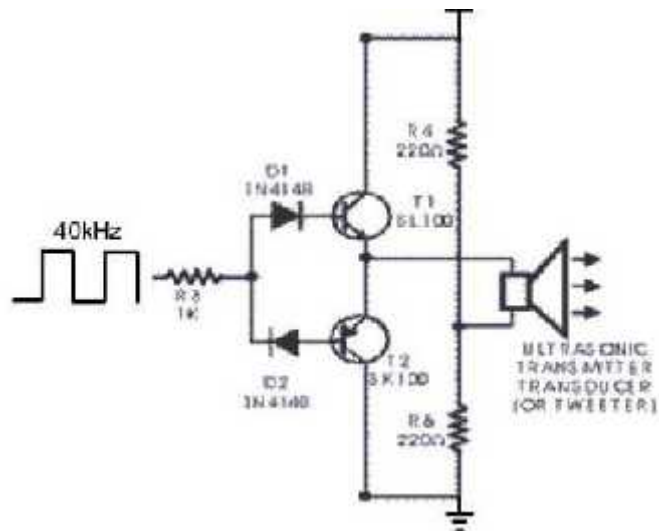
Sinyal yang dipancarkan tersebut kemudian akan merambat sebagai sinyal / gelombang bunyi dengan kecepatan bunyi yang berkisar 344 m/s. Sinyal tersebut kemudian akan dipantulkan dan akan diterima kembali oleh bagian penerima ultrasonik. Setelah sinyal tersebut sampai di penerima ultrasonik, kemudian sinyal tersebut akan diproses untuk menghitung jaraknya. Jarak dihitung berdasarkan rumus :

$$S = V \cdot t / 2$$

Dimana S adalah jarak antara sensor ultrasonik dengan bidang pantul, dan t adalah selisih waktu antara pemancaran gelombang ultrasonik sampai diterima kembali oleh bagian penerima ultrasonik.

2.6.1 Pemancar (*Transmitter*)

Pemancar Ultrasonik ini berupa rangkaian yang memancarkan sinyal sinusoidal berfrekuensi di atas 20 KHz menggunakan sebuah transduser *transmitter* ultrasonik



Gambar 2.21 Gambar Rangkaian sensor Ultrasonik

(Sumber : <http://delta-electronic.com>)

Prinsip kerja dari rangkaian pemancar gelombang ultrasonik tersebut adalah sebagai berikut :

Sinyal 40 KHz dibangkitkan melalui mikrokontroller. Sinyal tersebut dilewatkan pada sebuah resistor sebesar 3kOhm untuk pengaman ketika sinyal tersebut membias maju rangkaian dioda dan transistor. Kemudian sinyal tersebut dimasukkan ke rangkaian penguat arus yang merupakan kombinasi dari 2 buah dioda dan 2 buah transistor.

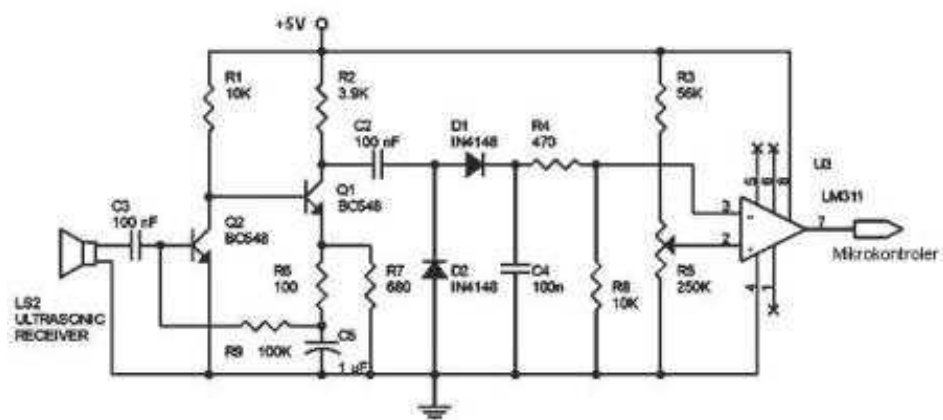
Ketika sinyal dari masukan berlogika tinggi (+5V) maka arus akan melewati dioda D1 (D1 on), kemudian arus tersebut akan membias transistor T1, sehingga arus yang akan mengalir pada kolektor T1 akan besar sesuai dari penguatan dari transistor.

Ketika sinyal dari masukan berlogika tinggi (0V) maka arus akan melewati dioda D2 (D2 on), kemudian arus tersebut akan membias transistor T2, sehingga arus yang akan mengalir pada kolektor T2 akan besar sesuai dari penguatan dari transistor.

Resistor R4 dan R6 berfungsi untuk membagi tegangan menjadi 2,5 V. Sehingga pemancar ultrasonik akan menerima tegangan bolak – balik dengan $V_{peak-peak}$ adalah 5V (+2,5 V s.d -2,5 V).

2.6.2 Penerima (Receiver)

Penerima Ultrasonik ini akan menerima sinyal ultrasonik yang dipancarkan oleh pemancar ultrasonik dengan karakteristik frekuensi yang sesuai. Sinyal yang diterima tersebut akan melalui proses filterisasi frekuensi dengan menggunakan rangkaian *band pass filter* (penyaring pelewat pita), dengan nilai frekuensi yang dilewatkan telah ditentukan. Kemudian sinyal keluarannya akan dikuatkan dan dilewatkan ke rangkaian komparator (pembanding) dengan tegangan referensi ditentukan berdasarkan tegangan keluaran penguat pada saat jarak antara sensor kendaraan mini dengan sekat/dinding pembatas mencapai jarak minimum untuk berbelok arah. Dapat dianggap keluaran komparator pada kondisi ini adalah high (logika '1') sedangkan jarak yang lebih jauh adalah low (logika '0'). Logika-logika biner ini kemudian diteruskan ke rangkaian pengendali (mikrokontroler).



Gambar 2.22 Rangkaian Penerima Gelombang Ultrasonik

(Sumber : <http://jurnalsain-unand.com>)

Prinsip kerja dari rangkaian pemancar gelombang ultrasonik tersebut adalah sebagai berikut :

Pertama – tama sinyal yang diterima akan dikuatkan terlebih dahulu oleh rangkaian transistor penguat Q2. Kemudian sinyal tersebut akan di filter menggunakan High pass filter pada frekuensi > 40 KHz oleh rangkaian transistor Q1. Setelah sinyal tersebut dikuatkan dan di filter, kemudian sinyal tersebut akan disearahkan oleh rangkaian dioda D1 dan D2. Kemudian sinyal tersebut melalui rangkaian *filter, low pass filter* pada frekuensi < 40 KHz melalui rangkaian filter C4 dan R4. Setelah itu sinyal akan melalui komparator Op-Amp pada U3.

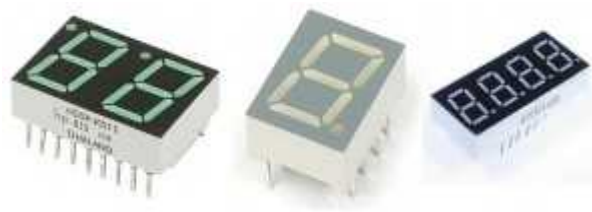
Jadi ketika ada sinyal ultrasonik yang masuk ke rangkaian, maka pada komparator akan mengeluarkan logika rendah (0V) yang kemudian akan diproses oleh mikrokontroler untuk menghitung jaraknya.



Gambar 2.23 Gambar sensor Ultrasonik

(Sumber : <http://jurnalsain-unand.com>)

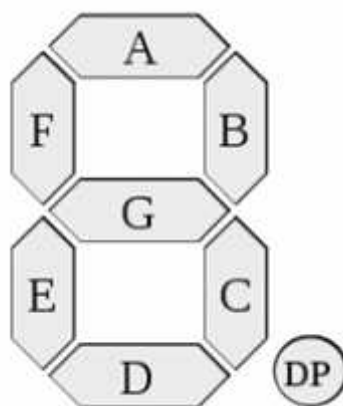
2.7. Display Sevent Segment



Gambar 2.24 Display Sevent Segment

(Sumber: <http://elektronika-dasar.web.id/komponen/display-7-segment/>)

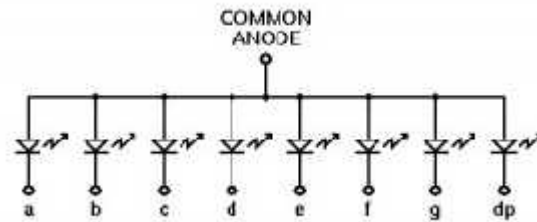
Display 7 Segment merupakan komponen yang berfungsi sebagai penampil karakter angka dan karakter huruf. *Display 7 Segment* sering juga disebut sebagai penampil 7 ruas. Pada *Display 7 Segment* juga dilengkapi karakter titik (dot) yang sering dibutuhkan untuk karakter koma atau titik pada saat menampilkan suatu bilangan. *Display 7 Segment* terdiri dari 7 penampil karakter yang disusun dalam sebuah kemasan sehingga dapat menampilkan karakter angka dan karakter huruf. Terdapat 7 buah penampil dasar dari LED (*Light Emiting Diode*) yang dinamakan karakter A-F dan karakter dot. Bentuk susunan karakter penampil karakter A-F pada *display 7 segment* dapat dilihat pada gambar berikut. Bentuk Susunan Karakter *Display 7 Segment*.



Gambar 2.25 Karakteristik pembagian *Display Segment*

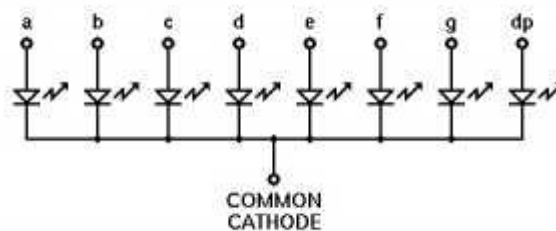
(Sumber: <http://elektronika-dasar.web.id/komponen/display-7-segment/>)

Pada dasarnya penampil 7 segment merupakan rangkaian 7 buah dioda LED (*Light Emiting Diode*). Terdapat 2 (dua) jenis rangkaian dasar dari *Display 7 Segment* yang dikenal sebagai *Display 7 Segment* common anoda (CA) dan common cathoda (CC). Pada display common anoda untuk mengaktifkan karakter *Display 7 Segment* diperlukan logika low (0) pada jalur A-F dan DP dan sebaliknya untuk *Display 7 Segment* common cathoda (CA). Rangkaian internal *Display 7 Segment* common anoda dan common cathoda (CC) dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.26 Rangkaian Internal *Display 7 Segment* Common Anoda.

(Sumber: <http://elektronika-dasar.web.id/komponen/display-7-segment/>)



Gambar 2.27 Rangkaian Internal *Display 7 Segment* Common Cathoda

(Sumber: <http://elektronika-dasar.web.id/komponen/display-7-segment/>)

Rangkaian LED seperti pada gambar diatas disusun sedemikian rupa sehingga membentuk *Display 7 Segment* yang dapat menampilkan karakter angka dan huruf. Karena hanya terdiri dari 7 bagian (7 ruas) maka tampilan huruf yang dihasilkan display 7 segment tidak dapat menampilkan karakter huruf secara lengkap a-z, akan tetapi dalam aplikasi rangkaian elektronika karakter huruf yang sering ditampilkan oleh *Display 7 Segment* adalah karakter A-F saja. *Display 7 Segment* dapat menampilkan karakter angka desimal 0 – 9 yang dapat dilihat pada gambar berikut. Karakter Angka Pada *Display 7 Segment*.



Gambar 2.28 Bentuk Hasil Angka pada *sevent Segment*

(sumber: <http://elektronika-dasar.web.id/komponen/display-7-segment/>)

Dipasaran dapat dijumpai *display 7 segment* dalam beberapa varian fisik yang bermacam-macam. Ada yang dikemas untuk menampilkan 1 karakter angka dan ada juga yang dikemas langsung untuk menampilkan beberapa karakter angka.