

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 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.

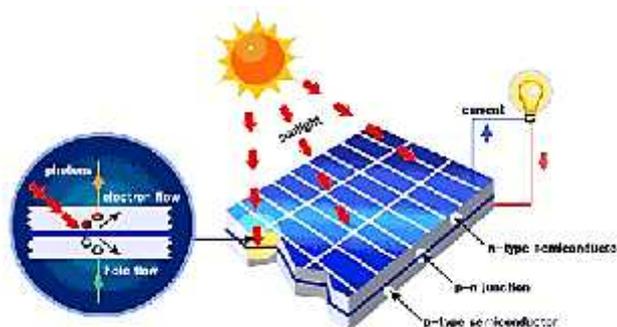


Gambar 2.2 Mobil Listrik PT. PINDAD sebagai pengujian Motor Listrik
(sumber : Dr. Agus Purwadi, *Penelitian dan Pengembangan Mobil Listrik Nasional 2014*)

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.

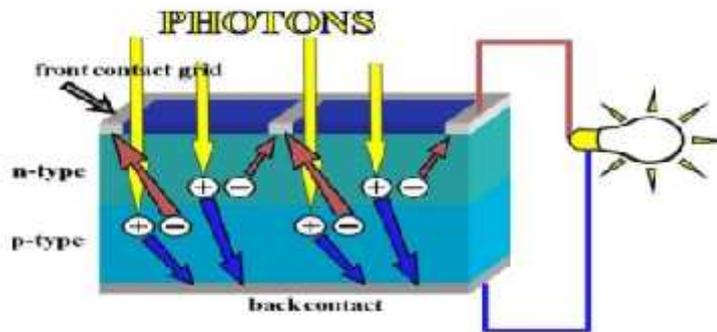
Spesifikasi keseluruhan dari *Solar Cell* yang digunakan adalah:

- 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 W/m²
Tc = 25⁰C

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

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

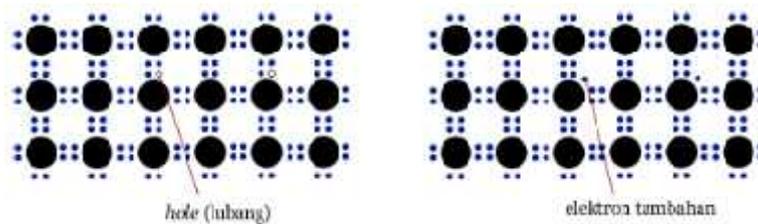
Solar Cell merupakan suatu perangkat semi konduktor yang dapat menghasilkan listrik jika diberikan sejumlah energi cahaya. Proses penghasilan energi listrik terjadi jika pemutusan ikatan elektron pada atom-atom yang tersusun dalam kristal semikonduktor ketika diberikan sejumlah energi. Salah satu bahan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



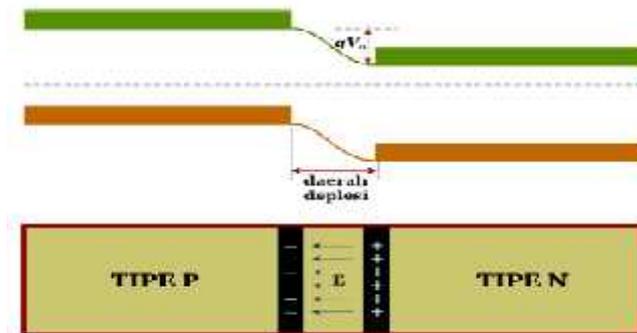
Gambar 2.5 Semikonduktor Tipe-P (Kiri) dan Tipe-N (Kanan)

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

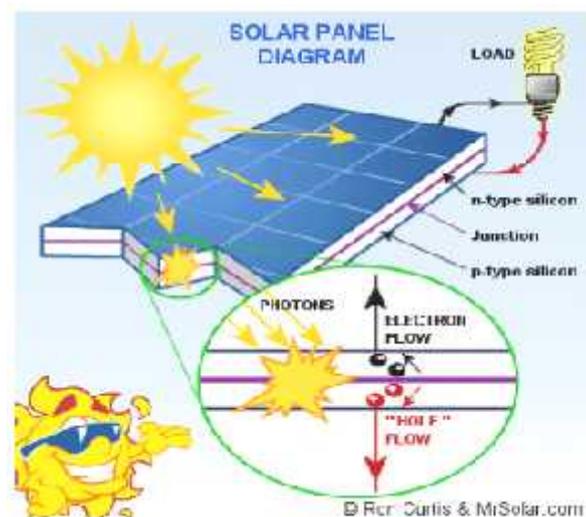
Ketika suatu kristal *Silicon* ditambahkan dengan unsur golongan kelima, misalnya arsen, maka atom-atom arsen itu akan menempati ruang diantara atom-atom silikon yang mengakibatkan munculnya elektron bebas pada material campuran tersebut. Elektron bebas tersebut berasal dari kelebihan elektron yang dimiliki 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 electron 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.

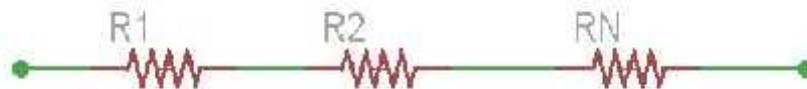
2.2.4. Prinsip Dasar Solar Cell (Photovoltaic) Dari Bahan Tembaga

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.

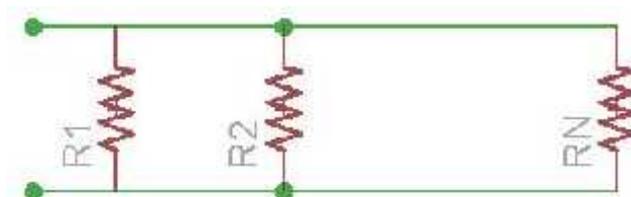
$$U_{\text{total}} = U_1 + U_2 + U_3 + U_n \dots \dots \dots (1)$$

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).

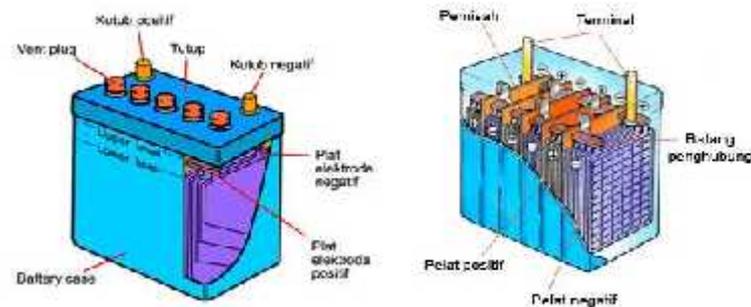
Akan tetapi, tidak seperti elemen primer, elemen sekunder dapat dimuati kembali berulang kali. Elemen sekunder ini lebih dikenal dengan *Accu*. Dalam sebuah *Accu* berlangsung proses elektrokimia yang reversibel (bolak-balik) dengan efisiensi yang tinggi. Yang dimaksud dengan proses elektrokimia reversibel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

2.3.1 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, muncullah arus listrik.



Gambar 2.10 Sel Accu

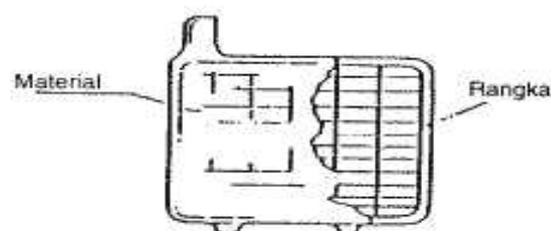
(Sumber: id.m.wikipedia.org/akumulator, diakses terakhir tanggal 17 April 2015)

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).

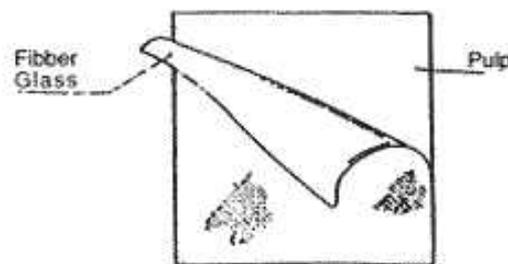


Gambar 2.11 Plat Sel Accu

(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*.

2.3.3 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>
		12V
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)

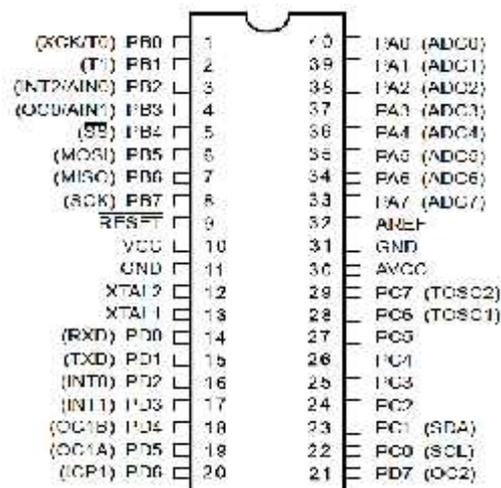
- Sebuah *Central Processing Unit* 8 bit.
- Osilator: Internal dan rangkaian pewaktu.
- RAM internal 128 byte.
- *Flash Memory* 2 Kbyte.
- Lima buah jalur interupsi (dua buah interupsi eksternal dan tiga buah interupsi internal).
- Empat buah *Programmable* port I/O yang masing – masing terdiri dari 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 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 diumpangkan 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*

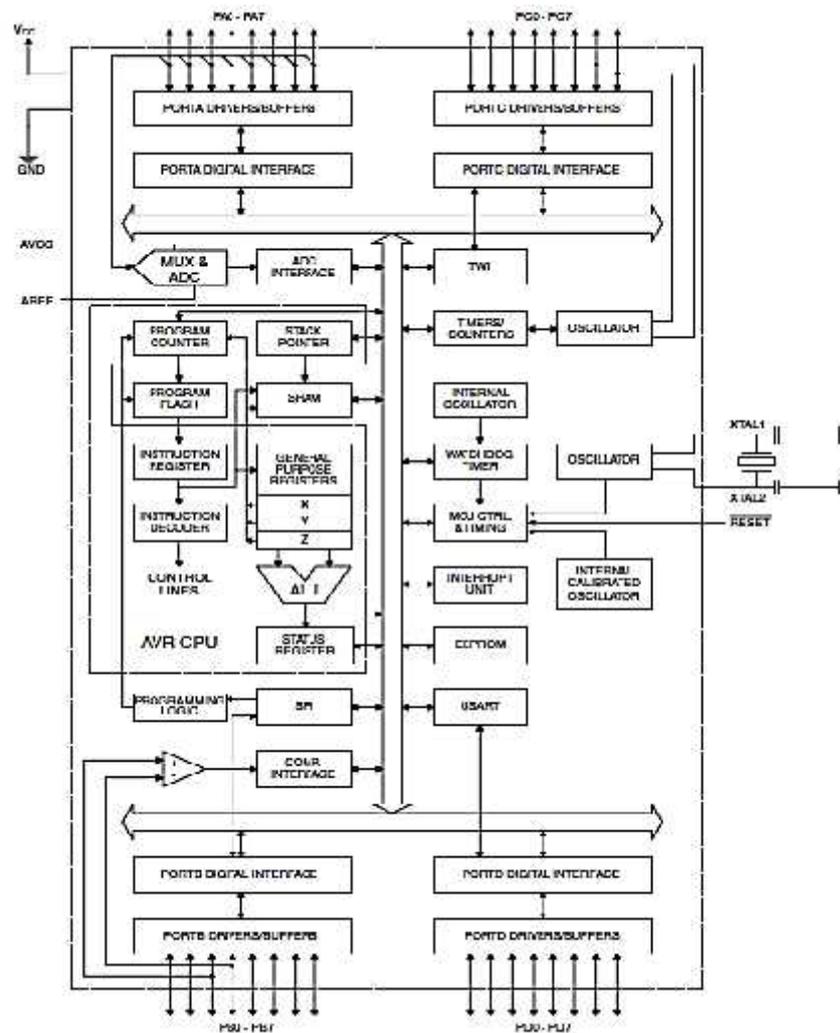
RESET : Input reset level rendah pada pin ini selama lebih dari panjang pulsa minimum akan menghasilkan reset, walaupun *Clock* sedang berjalan.

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

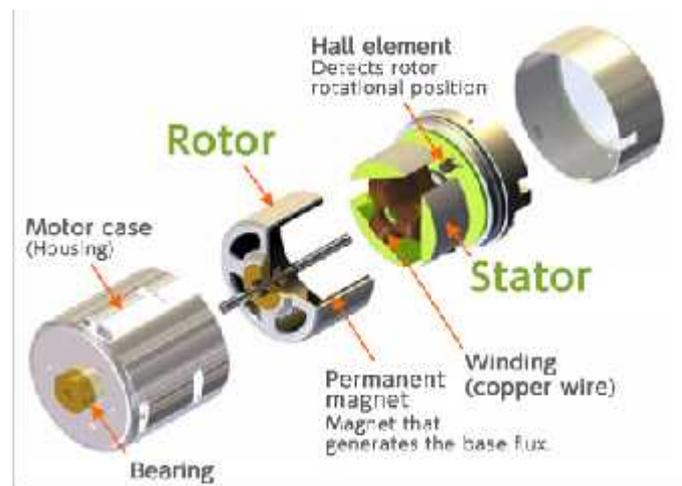
Motor arus searah adalah sebuah motor yang membutuhkan tegangan dc untuk menjalankannya. Pada umumnya motor jenis ini menggunakan sikat dan mengoperasikannya sangat mudah tinggal dihubungkan dengan *Battery* sehingga motor langsung berputar. Jenis motor ini memerlukan perawatan pada sikatnya serta banyak 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 eletromagnet 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

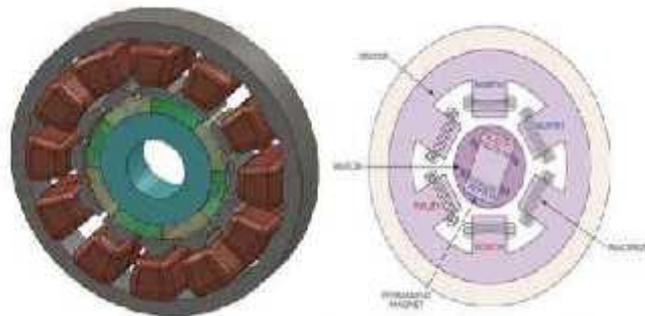
Rotor adalah bagian pada motor yang berputar karena adanya gaya elektromagnetik dari stator, dimana pada motor DC *Brushless* bagian rotornya berbeda dengan rotor pada motor DC konvensional yang hanya tersusun dari satu buah elektromagnet yang berada diantara *Brushes* (sikat)

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.

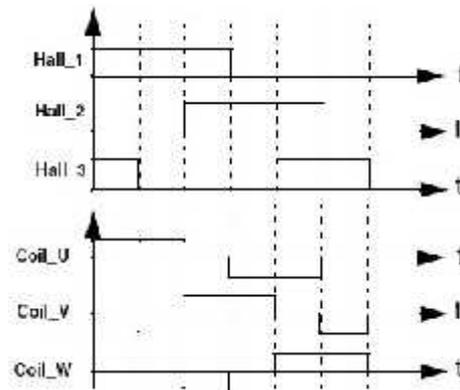
Karena berbanding lurus dengan faktor-faktor lain yang mempengaruhi torsi, maka kenaikan dan penurunan arus sangat berpengaruh pada besarnya torsi yang dihasilkan motor BLDC.

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)

2.6 Sistem Kontrol Manual dan *Monitoring* Mobil Listrik ^[1]

2.6.1 Sistem Kontrol Manual Mobil Listrik

Sistem kontrol manual (manual control system) adalah suatu alat (kumpulan alat) untuk mengendalikan, memerintah, dan mengatur keadaan dari suatu sistem. Istilah sistem kendali ini dapat dipraktekkan secara manual mengendarai atau menyetir Mobil Listrik, misalnya, dengan menggunakan prinsip *loloh balik*. Selain itu, sistem kontrol manual juga dapat kita jumpai pada tombol-tombol untuk mengaktifkan lampu utama dan lampu *sign* pada Mobil Listrik.

Pada Mobil Listrik, terdapat beberapa sistem kontrol manual secara umum, yaitu :

1. Sistem kontrol manual untuk *on/off* Mobil Listrik
2. Sistem kontrol manual lampu Mobil Listrik.
3. Sistem kontrol manual lampu *sign*

Secara umum, sistem kontrol manual *on/off* Mobil Listrik ini berguna untuk mengaktifkan dan menoaktifkan Mobil Listrik pada saat akan di gunakan dan pada saat tidak di gunakan. Dengan tujuan untuk dapat menghemat energi mobil listrik. Pada sistem kontrol *on/off* Mobil Listrik, menggunakan switch dengan 2 buah kondisi.

[1] Sumber: Dr. Agus Purwadi, Penelitian dan Pengembangan Mobil Listrik Nasional 2014

Kondisi pertama untuk menyalakan atau mengaktifkan Mobil Listrik, dan kondisi kedua untuk mematikan atau menonaktifkan Mobil Listrik.

Sistem kontrol yang kedua yaitu sistem kontrol lampu. lampu yang terdapat pada Mobil Listrik berguna sebagai penerang sehingga area sekitar yang terkena cahaya lampu akan lebih terang. Selain sebagai penerangan, lampu-lampu pada Mobil Listrik juga dapat digunakan sebagai penanda dan juga sebagai indikator.



Gambar 2.18 Ilustrasi penggunaan lampu pada Mobil Listrik

(sumber : Dr. Agus Purwadi, *Penelitian dan Pengembangan Mobil Listrik Nasional 2014*)

Pada Mobil Listrik, lampu terdapat di dalam kendaraan maupun diluar kendaraan. Pada bagian luar lampu dapat dipasang dibagian depan, bagian belakang, bagian atas dan bagian samping Mobil Listrik. Penempatan dan pemilihan jenis lampu biasanya mempunyai tujuan tertentu. Sebagai contoh lampu depan mobil terdapat lampu besar yang berfungsi sebagai penerang jalan. Lampu besar depan ini dapat juga di atur menjadi 2 bagian yaitu lampu dekat dan lampu jauh. Terkadang pada bagian depan Mobil Listrik juga di tambah lampu kabut yang di kenal dengan istilah *froglamp* .

Untuk mengaktifkan lampu depan pada Mobil Listrik ini di gunakan sebuah tombol tau switch yang. Tombol atau switch ini berfungsi sebagai kontrol manual untuk mengaktifkan atau menonaktifkan lampu depan mobil.

Dan yang terakhir sistem kontrol lampu sign pada Mobil Listrik, sistem kontrol lampu *sign* pada Mobil Listrik ini berfungsi untuk menghidupkan lampu ketika akan berbelok ke kanan atau ke kiri, berbeda dengan kedua kontrol manual di atas yang hanya menggunakan 2 buah kondisi pada tombola tau switch, pada

sistem kontrol manual lampu sign ini di gunakan 3 buah kondisi switch, yaitu, kondisi pertama mengaktifkan lampu sign untuk berbelok ke kanan, kondisi kedua untuk menonaktifkan lampu sign pada saat mobil berjalan lurus, kondisi ketiga yang berfungsi untuk mengaktifkan lampu sign untuk berbelok ke kiri. Sistem kontrol manual pada Mobil Listrik sangat bermanfaat untuk mempermudah pada saat mengoperasikan Mobil Listrik.

Lampu *sign* atau disebut juga lampu riting berguna sebagai penanda bahwa Mobil Listrik akan berbelok kearah tujuan untuk mengurangi resiko kecelakaan. Lampu *sign* wajib ada pada setiap Mobil Listrik dan biasanya ada 4 lampu *sign*, 2 di bagian depan, dan 2 di bagian belakang. Lampu *sign* wajib dijalankan ketika mobil akan berbelok memutar. Bila mobil akan berbelok kearah kiri maka lampu *sign* berwarna kuning pada bagian depan kiri maupun belakang kiri harus menyala dengan cara berkedip (*flash*) dengan interval waktu tertentu. Begitu juga bila mobil akan berbelok kearah kanan maka lampu *sign* kanan depan maupun kanan belakang harus menyala berkedip. Untuk sebagian pada mobil-mobil biasa, lampu *sign* di tambah pada sisi kiri dan sisi kanan mobil. Dipilihnya warna kuning sebagai lampu *sign* karena warna kuning dapat kelihatan dari jauh baik pada siang hari maupun malam hari, selain itu ketika hujan turun warna kuning juga tetap dapat dilihat dengan jelas.

Lampu *hazard* sering di kaitkan dengan lampu *sign* karena selain berada pada tempat yang sama, bedanya ketika lampu *hazard* dihidupkan maka lampu *sign* kiri dan kanan akan hidup secara bersamaan. Lampu *hazard* adalah lampu yang khusus digunakan ketika Mobil Listrik atau kendaraan sedang mengalami masalah, dengan menghidupkan lampu *hazard*, maka mobil akan memberikan isyarat kepada pengguna kendaraan yang lainnya bahwa kendaraan sedang mengalami masalah.



Gambar 2.19 Ilustrasi Lampu Depan dan Lampu *Sign* Mobil Listrik
(sumber : Dr. Agus Purwadi, *Penelitian dan Pengembangan Mobil Listrik Nasional 2014*)

2.6.2 Sistem *Monitoring* Mobil Listrik

Mobil Listrik merupakan integrasi dari sistem-sistem mekanik dan elektronik. Sistem ini harus selalu melakukan interaksi kepada pengemudi untuk keamanan dan kenyamanan pengemudi. Oleh sebab itu di perlukan sebuah sistem monitoring yang dapat menjadi jembatan atau penghubung antara pengemudi dengan Mobil Listrik yang dapat menampilkan data-data keadaan pada Mobil Listrik dan sebagai media interface yang dapat menjadi acuan bagi pengemudi.

Gambar dibawah ini menjelaskan contoh sistem monitoring pada Mobil Listrik yang menampilkan informasi energy yang masih tersisa, kontrol *android* yang terhubung, status pengisian energy dan kecepatan Mobil Listrik melalui *LCD* sebagai informasi keadaan pada Mobil Listrik.



Gambar 2.20 Ilustrasi Sistem *Monitoring* dengan *Display*
(sumber : Dr. Agus Purwadi, *Penelitian dan Pengembangan Mobil Listrik Nasional 2014*)

Pada ilustrasi di gambar 2.23 dapat dilihat sistem *monitoring* dengan display untuk memberikan indikator kecepatan (*Speedometer*). Kekuatan *accu*, lampu *sign*, kondisi berhenti ketika di rem dan lain sebagainya. Penggunaan LCD *Display* membuat aplikasi menjadi *compact* dan lebih terintegrasi pada sistem.

Hal pokok yang membedakan antara Mobil Listrik dengan mobil biasa, Mobil Listrik tidak memiliki indikator *fuel capacity*, dalam hal ini adalah kapasitas tangki bahan bakar yang masih tersedia. Pada Mobil Listrik, *fuel capacity* yang tertera, menunjukkan kapasitas energi tenaga baterai yang masih tersedia. Pada sistem ini pula, seluruh komunikasi informasi Mobil Listrik biasanya menggunakan komunikasi *Serial* yang terintegrasi dengan Mikrokontroler yang akan di tampilkan pada sistem *display*.

2.7 Relay

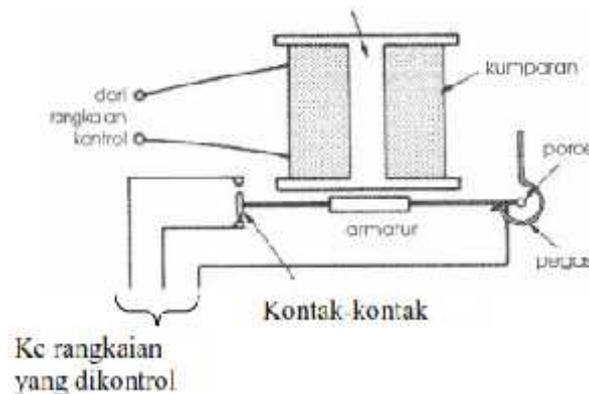


Gambar 2.21 Bentuk Fisik *Relay*

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

Relay adalah sebuah saklar magnetis yang dikendalikan oleh arus secara elektrik. *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 2.22. 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*).

2.8 *Microsoft Visual Basic 6.0* ^[2]

Microsoft Visual Basic 6.0 adalah salah satu *development tools* untuk membangun aplikasi dalam lingkungan *Windows*. Dalam pengembangan aplikasi, *Visual Basic* menggunakan pendekatan *Visual* untuk merancang *user interface* dalam bentuk *form*, sedangkan untuk kodingnya menggunakan dialek bahasa *Basic* yang cenderung mudah dipelajari. *Visual Basic* telah menjadi tools yang terkenal bagi para pemula maupun para *developer* dalam pengembangan aplikasi skala kecil sampai skala besar.

Dalam lingkungan *Windows User Interface* sangat memegang peranan penting, karena dalam pemakaian aplikasi yang di buat, pemakai senantiasa berinteraksi dengan *User Interface* tanpa menyadari bahwa dibelakangnya berjalan instruksi-instruksi program yang mendukung tampilan dan proses yang di lakukan.

Pada pemogramam *Visual*, pengembangan aplikasi dimulai dengan pembetntukan *User Interface*, kemudian mengaur *property* dari objek-objek yang digunakan dalam *User Interface*, dan baru dilakukan penulisan kode program untuk menjalankan dan menangani kejadian-kejadian (*event*). Tahap pengembangan aplikasi demikian dikenal dengan istilah pengembangan aplikasi dengan pendekatan *Bottom Up*.

[2] Sumber: Hendra S.T, *Dasar Pemogramam Visual Basic gunadarma.ac.id, 2005*

Bahasa pemrograman adalah perintah-perintah yang dimengerti oleh komputer untuk melakukan tugas-tugas tertentu. Bahasa pemrograman *Visual Basic*, yang dikembangkan oleh *Microsoft* sejak tahun 1991, merupakan pengembangan dari pendahulunya yaitu bahasa pemrograman *BASIC (Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code)* yang dikembangkan pada era 1950-an. *Visual Basic* merupakan salah satu *Development Tool* yaitu alat bantu untuk membuat berbagai macam program komputer, khususnya yang menggunakan sistem operasi *Windows*. *Visual Basic* merupakan salah satu bahasa pemrograman komputer yang mendukung object (*Object Oriented Programming = OOP*) (Octovhiana, 2003).

Dalam pemrograman berbasis obyek (OOP), perlu dipahami istilah *object*, *property*, *method*, dan *event*. *Object* merupakan komponen di dalam sebuah program. Setiap komponen di dalam pemrograman *Visual Basic* dapat diatur propertinya sesuai dengan kebutuhan aplikasi. Jalannya program dapat diatur menggunakan metode pemrograman yang diatur sebagai aksi dari setiap komponen. Setiap komponen dapat beraksi melalui *event*. Pengaturan *event* dalam setiap komponen yang akan menjalankan semua metode yang dibuat.

Form adalah *Object Visual Basic* pertama yang harus kita kenali. Hal ini disebabkan karena hampir semua aplikasi *Visual Basic* menggunakan satu *Form* atau lebih. *Control* adalah object *VB* yang dapat di letakan dalam *Form*.

Form dan *object-object* dalam *VB* dapat kita analogikan dengan manusia, di mana setiap manusia memiliki ciri khas tertentu, misalnya seperti tinggi badan, gemuk kurus dan sebagainya maka object dalam *VB* juga memiliki karakteristik yang di kenal dengan nama *Properties*. Jika manusia bisa melakukan tindakan-tindakan seperti menghapus, berjalan dan sebagainya maka object juga memiliki tindakan yang di sebut dengan *methods* seperti *Move*, *PaintPicture*, *CLS*, *Print*. Manusia dapat bereaksi terhadap suatu *event* tertentu maka *object* juga dapat, hal ini di kenal dengan nama *Event*, misalnya saat *Mouse* diklik, *keyboard* di tekan dan lain sebagainya.

Microsoft Visual Basic 6.0 adalah sebuah bahasa pemrograman untuk *Windows* dan Internet. Sama seperti bahasa pemrograman *Basic*, *Pascal*, *C* dan

lain-lain. Tetapi *Basic*, *Pascal* dan *C* ditujukan untuk sistem operasi *Ms-DOS*, sedangkan *Visual Basic* ditujukan untuk sistem operasi *Windows* dan *Internet*. Jika sudah memahami bahasa pemrograman *Basic*, maka *Visual Basic* sudah lebih mudah pelajari, sebab sebagian besar perintah-perintah *Visual Basic* serupa dengan bahasa *Basic*.

2.8.1 Sejarah *Microsoft Visual Basic 6.0*

Billgate , pendiri *Microsoft*, memulai bisnis softwarena dengan mengembangkan *interpreter* bahasa *Basic* untuk *Altair 8800*, untuk kemudian ia ubah agar dapat berjalan di atas *IBM PC* dengan sistem operasi *DOS*, Perkembangan berikutnya ialah diluncurkannya *BASICA (BASICAAdvanced)* untuk *DOS*, Setelah *BASICA*, *Microsoft* meluncurkan *Microsoft Quick Basic* dan *Microsoft Basic* (dikenal juga sebagai *Basic Compiler*), *Visual basic* adalah pengembangan dari bahasa komputer *BASIC (Beginner"s All-purpose Symbolic Instruction Code)*, Bahasa *BASIC* diciptakan oleh *Professor John Kemeny* dan *Thomas Eugene Kurtz* dari Perguruan Tinggi *Dartmouth* pada pertengahan tahun 1960-an (*Deitel&Deitel, 1999*).



Gambar 2.23 *Bill Gates*

(Sumber: <http://id.wikipedia.org/wiki/vb6.0>)

Bahasa program tersebut tersusun mirip dengan bahasa Inggris yang biasa digunakan oleh para programmer untuk menulis program-program komputer sederhana yang berfungsi sebagai pembelajaran bagi konsep dasar pemrograman komputer, Sejak saat itu, banyak versi *BASIC* yang dikembangkan untuk digunakan pada berbagai *platform* komputer.



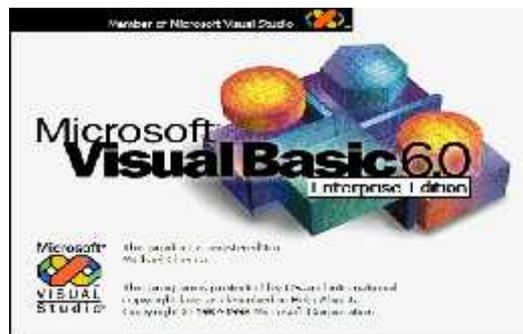
Gambar 2.24 Logo *Microsoft Visual Basic*

(Sumber: <http://id.wikipedia.org/wiki/vb6.0>)

2.8.2 Perkembangan *Visual Basic*

1. *Visual Basic 1.0* (May 1991) di rilis untuk *windows* pada *COMDEX/Windows Wordltrade* yg dipertunjukan di *Atlanta, Georgia*.
2. *Visual Basic 1.0* untuk *DOS* dirilis pada bulan *September 1992*. Bahasa ini tidak kompatibel dengan *Visual Basic For Windows*. *VB 1.0 for DOS* ini pada kenyataannya merupakan versi kelanjutan dari *compiler BASIC, QuickBasic dan BASIC Professional Development System*.
3. *Visual Basic 2.0* dirilis pada *November 1992*, Cakupan pemrogramannya cukup mudah untuk digunakan dan kecepatannya juga telah di modifikasi. Khususnya pada *Form* yg menjadikan *object* dapat dibuat secara seketika, serta konsep dasar dari *Class modul* yg berikutnya di implementasikan pada *VB 4* .
4. *Visual Basic 3.0* , dirilis pada musim panas *1993* dan dibagi menjadi versi *standard dan professional*. *VB 3* memasukan *Versi 1.1* dari *Microsoft Jet Database Engine* yg dapat membaca serta menulis *database Jet (atau access) 1.x*
5. *Visual Basic 4.0* (*Agustus 1995*) merupakan versi pertama yg dapat membuat *windows program 32 bit* sebaik versi *16 bit* nya. *VB 4* juga memperkenalkan kemampuan untuk menulis *non-GUI class* pada *Visual Basic* .

6. *Visual Basic 5.0* (February 1997), *Microsoft* merilis secara eksklusif *Visual basic* untuk versi *windows 32 bit* . Programmer yg menulis programnya pada versi 16 bit dapat dengan mudah melakukan *import* porgramnya dari *VB4* ke *VB5*. dan juga sebaliknya, program *VB5* dapat diimport menjadi *VB4*. *VB 5* memperkenalkan kemampuan untuk membuat *User Control*.
7. *Visual Basic 6.0* (pertengahan 1998) memperbaiki beberapa cakupan, termasuk kemampuannya untuk membuat *Aplikasi Web-based* . *Visual Basic 6* di jadwalkan akan memasuki *Microsoft "fasa non Supported"* dimulai pada maret 2008



Gambar 2.25 Tampilan awal perangkat lunak *Microsoft Visual Basic 6.0*

(Sumber: <http://id.wikipedia.org/wiki/vb6.0>)

8. *Visual Basic .NET*, dirilis pada tahun 2002, Beberapa yang mencoba pada versi pertama *.NET* ini mengemukakan bahwa bahasa ini sangat *powerful* tapi bahasa yg digunakan sangat berbeda dengan bahasa sebelumnya, dengan kekurangan diberbagai area, termasuk *runtime*-nya yang 10 kali lebih besar dari paket *runtime VB6* serta peningkatan penggunaan memory.
9. *Visual Basic .NET 2003*, dirilis dengan menggunakan *NET framework versi 1.1*.
10. *Visual Basic 2005*, merupakan itegrasi selanjutnya dari *Visual Basic .NET*. dan *Microsoft* memutuskan untuk menghilangkan kata kata *.NET* pada judulnya. Pada Rilis ini , *Microsoft* memasukan bebrapa fitur baru, diantaranya : *Edit and Continue* , mungkin inilah

kekurangan fitur terbesar dari VB .NET. pada VB 2005 ini kita diperbolehkan melakukan perubahan kode pada saat program sedang dijalankan Perbaikan pada Konversi dari VB ke VB NET12 Visual Basic .NET 2003 (VB 7.1) , dirilis dengan menggunakan NET Kerangka kerja versi 1.1. *IsNot Patent*, merupakan salah satu fitur dari Visual Basic 2005 merupakan konversi If=Not X Is Y menjadi If X IsNot Y.

11. *Visual Basic 2005 Express* , merupakan bagian dari *Product Visual Studio*. *Microsoft* membuat *Microsoft Visual Studio 2005 Express edition* untuk pemula dan yg gemar dengan VB, salah satu produknya adalah *Visual Basic 2005 Express* yg merupakan produk gratis dari *Microsoft*
12. *Visual Basic "Orcas"*, dijadwalkan akan dirilis pada tahun 2007 dan dibangun diatas .NET 3.5. Pada rilis ini , *Microsoft* menambahkan beberapa fitur , diantaranya : *True Ternary operator* , yaitu fungsi *If(boolean,value, value)* yg digunakan untuk menggantikan fungsi *IIF*, *LINQ Support*, *Ekspresi Lambda*, *XML Literals*, *Nullable types*, *Type Inference*
13. *Visual Basic „VBx“*, *Visual Basic 10*, yang juga dikenal dengan nama *VBx*, akan menawarkan dukungan untuk *Dynamic Language Runtime*. *VB 10* direncanakan akan menjadi bagian da 15. an dari *SilverLight 1.1*

2.8.3 Fasilitas Visual Basic

Di dalam lingkungan *Visual Basic*, terdapat berbagai macam komponen, yaitu:

1. *Control Menu*

Control Menu adalah menu yang digunakan terutama untuk memanipulasi jendela Visual Basic. Dari menu ini anda dapat mengubah ukuran, memindahkannya, atau menutup jendela.

2. *Menu*

Menu Visual Basic berisi semua perintah Visual Basic yang dapat dipilih untuk melakukan tugas tertentu. Isi dari menu ini sebagian hampir sama dengan program-program *Windows* pada umumnya.

3. *Toolbar*

Toolbar adalah tombol-tombol (*shortcut*) yang mewakili suatu perintah tertentu dari *Visual Basic*.

4. *Form Window*

Form Window atau jendela *form* adalah daerah kerja utama tempat membuat program-program aplikasi *Visual Basic*.

5. *Toolbox*

Toolbox adalah sebuah “kotak piranti” yang mengandung semua objek atau „kontrol“ yang dibutuhkan untuk membentuk suatu program aplikasi. Kontrol adalah suatu objek yang akan menjadi penghubung antara program aplikasi dan *user*-nya, dan yang kesemuanya harus diletakkan di dalam jendela *form*.

6. *Project Explorer*

Jendela *Project Explorer* adalah jendela yang mengandung semua file di dalam aplikasi *Visual Basic*. Setiap aplikasi dalam *Visual Basic* disebut dengan istilah *project* (proyek), dan setiap proyek bisa mengandung lebih dari satu file. Pada *Project Explorer* ditampilkan semua file yang terdapat pada aplikasi (proyek), misalnya *form*, *modul*, *class*, dan sebagainya.

7. *Jendela Properties*

Jendela *Properties* adalah jendela yang mengandung semua informasi mengenai objek yang terdapat pada aplikasi *Visual Basic*. Properti adalah sifat dari sebuah objek, misalnya seperti nama, warna, ukuran, posisi, dan sebagainya.

8. *Form Layout Window*

Form Layout Window adalah jendela yang menggambarkan posisi dari *form* yang ditampilkan pada layer monitor. Posisi *form* pada *Form*

Layout Window inilah yang merupakan petunjuk tempat aplikasi akan ditampilkan pada layar monitor saat dijalankan.

9. Jendela *Code*

Jendela *Code* adalah salah satu jendela yang penting di dalam *Visual Basic*. Jendela ini berisi kode-kode program yang merupakan instruksi-instruksi untuk aplikasi *Visual Basic* yang dibuat.

2.8.4. Kelebihan Dan Kekurangan Visual Basic

Kelebihan :

1. Pengguna dengan dasar pemrograman apapun bisa dengan mudah menggunakan.
2. Ketika kita melakukan instalasi program lain yang mendukung penggunaannya dalam VB, maka komponen dari program tersebut bisa di masukkan dalam daftar komponen VB.
3. Ketika kita melakukan kesalahan penulisan kode, VB secara otomatis membetulkannya dan tidak perlu kita bersusah payah mendeklarasikan komponen ke dalam *list code*.

Kekurangan :

1. Sifatnya komersial
2. File VB sering menjadi target serangan virus.
3. Dokumentasi sebenarnya lengkap dalam *MSDN*, namun untuk instalasi *MSDN* membutuhkan biaya dan *space hardisk* yang besar.

2.9 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.

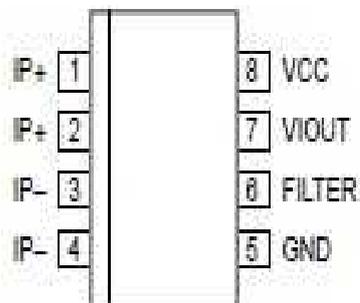
Berikut ini adalah karakteristik dari sensor arus ACS712 :

- 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 2.26 Kemasan dari IC ACS712

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



Gambar 2.27 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

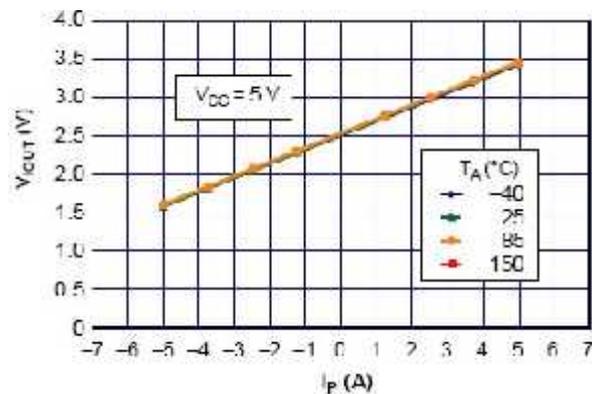
Pin Sensor ACS712	Fungsi
IP +	Terminal yang mendeteksi arus, terdapat sekring di dalamnya
IP -	Terminal yang mendeteksi arus, terdapat sekring di dalamnya
GND	Terminal sinyal <i>ground</i>
FILTER	Terminal untuk kapasitor eksternal yang berfungsi sebagai pembatas <i>bandwith</i>
VIout	Terminal keluaran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

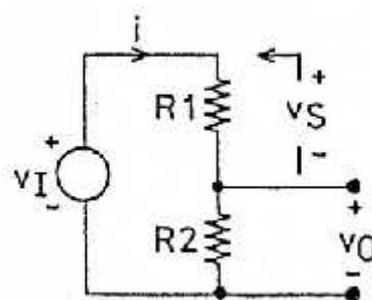
Pada saat tidak ada arus yang terdeteksi, maka keluaran sensor adalah 2,5 V. Dan saat arus mengalir dari IP+ ke IP-, maka keluaran akan >2,5 V. Sedangkan ketika arus listrik mengalir terbalik dari IP- ke IP+, maka keluaran akan <2,5 V. Berikut adalah grafik perbandingan tegangan keluaran terhadap arus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



Gambar 2.28 Grafik Tegangan Keluaran Sensor ACS712 Terhadap Arus Listrik
(sumber : <http://depokinstruments.com>)

2.10 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 2.29. Rangkaian Dasar Pembagi Tegangan
(Sumber: <http://repository.usu.ac.id/Chapter%20II.pdf>)

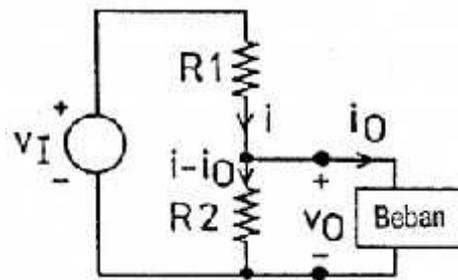
Dari rangkaian pembagi tegangan diatas dapat dirumuskan tegangan output V_O . Arus (I) mengalir pada R_1 dan R_2 sehingga nilai tegangan sumber V_I adalah

penjumlahan V_S dan V_O sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$V_I = V_S + V_O = i \cdot R_1 + i \cdot R_2 \dots\dots\dots(4)$$

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

$$V_O = V_I \cdot \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \dots\dots\dots(5)$$



Gambar 2.30 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 .

2.11 Sensor Optocoupler

Optocoupler adalah suatu piranti yang terdiri dari 2 bagian yaitu *Transmitter* dan *Receiver*, yaitu antara bagian cahaya dengan bagian deteksi sumber cahaya terpisah. Biasanya optocoupler digunakan sebagai saklar elektrik, yang bekerja secara otomatis.

Pada dasarnya Optocoupler adalah suatu komponen penghubung (*Coupling*) yang bekerja berdasarkan pemicu dari cahaya optik. Optocoupler terdiri dari dua bagian yaitu:

1. Pada *Transmitter* dibangun dari sebuah LED inframerah. Jika dibandingkan dengan menggunakan LED biasa, LED inframerah memiliki ketahanan yang lebih baik. Cahaya yang dipancarkan oleh LED inframerah tidak terlihat oleh mata telanjang.
2. Pada bagian *Receiver* dibangun dengan dasar komponen *Photodiode*. *Photodiode* merupakan suatu transistor yang peka terhadap tenaga cahaya. Suatu sumber cahaya menghasilkan energi panas, begitu pula dengan spektrum inframerah. Karena spektrum inframerah mempunyai efek panas yang lebih besar dari cahaya tampak, maka *Photodiode* lebih peka untuk menangkap radiasi dari sinar inframerah.

Oleh karena itu Optocoupler dapat dikatakan sebagai gabungan dari LED inframerah dengan fototransistor yang terbungkus menjadi satu chip. Cahaya inframerah termasuk dalam gelombang elektromagnetik yang tidak tampak oleh mata telanjang. Sinar ini tidak tampak oleh mata karena mempunyai panjang gelombang, berkas cahaya yang terlalu panjang bagi tanggapan mata manusia. Sinar infra merah mempunyai daerah frekuensi 1×10^{12} Hz sampai dengan 1×10^{14} GHz atau daerah frekuensi dengan panjang gelombang $1\mu\text{m} - 1\text{mm}$.

LED infra merah ini merupakan komponen elektronika yang memancarkan cahaya inframerah dengan konsumsi daya sangat kecil. Jika diberi bias maju, LED inframerah yang terdapat pada optocoupler akan mengeluarkan panjang gelombang sekitar 0,9 mikrometer.

Proses terjadinya pancaran cahaya pada LED infra merah dalam optocoupler adalah sebagai berikut. Saat dioda menghantarkan arus, elektron lepas dari ikatannya karena memerlukan tenaga dari catu daya listrik. Setelah elektron lepas, banyak elektron yang bergabung dengan lubang yang ada di sekitarnya (memasuki lubang lain yang kosong). Pada saat masuk lubang yang lain, elektron melepaskan tenaga yang akan diradiasikan dalam bentuk cahaya, sehingga dioda

akan menyala atau memancarkan cahaya pada saat dilewati arus. Cahaya inframerah yang terdapat pada optocoupler tidak perlu lensa untuk memfokuskan cahaya karena dalam satu chip mempunyai jarak yang dekat dengan penerimanya. Pada optocoupler yang bertugas sebagai penerima cahaya inframerah adalah fototransistor. Fototransistor merupakan komponen elektronika yang berfungsi sebagai detektor cahaya inframerah. Detektor cahaya ini mengubah efek cahaya menjadi sinyal listrik, oleh sebab itu fototransistor termasuk dalam golongan detektor optik.

Fototransistor memiliki sambungan kolektor–basis yang besar dengan cahaya inframerah, karena cahaya ini dapat membangkitkan pasangan lubang elektron. Dengan diberi bias maju, cahaya yang masuk akan menimbulkan arus pada kolektor.

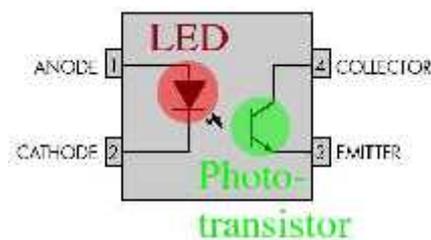
Fototransistor memiliki bahan utama yaitu germanium atau silikon yang sama dengan bahan pembuat transistor. Tipe fototransistor juga sama dengan transistor pada umumnya yaitu PNP dan NPN. Perbedaan transistor dengan fototransistor hanya terletak pada dindingnya yang memungkinkan cahaya inframerah mengaktifkan daerah basis, sedangkan transistor biasa ditempatkan pada dinding logam yang tertutup.

Ditinjau dari penggunaannya, fisik optocoupler dapat berbentuk bermacam-macam. Bila hanya digunakan untuk mengisolasi level tegangan atau data pada sisi *Transmitter* dan sisi *Receiver*, maka optocoupler ini biasanya dibuat dalam bentuk solid (tidak ada ruang antara LED dan *Photodiode*). Sehingga sinyal listrik yang ada pada input dan output akan terisolasi. Dengan kata lain optocoupler ini digunakan sebagai optoisolator jenis IC.

Prinsip kerja dari optocoupler adalah :

- a. Jika antara *Photodiode* dan LED terhalang maka *Photodiode* tersebut akan off sehingga output dari kolektor akan berlogika high.
- b. Sebaliknya jika antara *Photodiode* dan LED tidak terhalang maka *Photodiode* dan LED tidak terhalang maka *Photodiode* tersebut akan on sehingga outputnya akan berlogika low.

Sebagai piranti elektronika yang berfungsi sebagai pemisah antara rangkaian power dengan rangkaian kontrol. Komponen ini merupakan salah satu jenis komponen yang memanfaatkan sinar sebagai pemicu on/off-nya. Opto berarti *optic* dan *coupler* berarti pemicu. Sehingga bisa diartikan bahwa optocoupler merupakan suatu komponen yang bekerja berdasarkan picu cahaya optic *optocoupler* termasuk dalam sensor, dimana terdiri dari dua bagian yaitu *Transmitter* dan *Receiver*. Dasar rangkaian dapat ditunjukkan seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.31 *Optocoupler*

(Sumber : <http://en.wikipedia.org/wiki/Optocoupler>)

Sebagai pemancar atau *Transmitter* dibangun dari sebuah led inframerah untuk mendapatkan ketahanan yang lebih baik daripada menggunakan led biasa. Sensor ini bisa digunakan sebagai isolator dari rangkaian tegangan rendah kerangkaian tegangan tinggi. Selain itu juga bisa dipakai sebagai pendeteksi adanya penghalang antara *Transmitter* dan *Receiver* dengan memberi ruang uji dibagian tengah antara led dengan photo transistor. Penggunaan ini bisa diterapkan untuk mendeteksi putaran motor atau mendeteksi lubang penanda disket pada disk drive computer. Tapi pada alat yang penulis buat optocoupler untuk mendeteksi putaran.

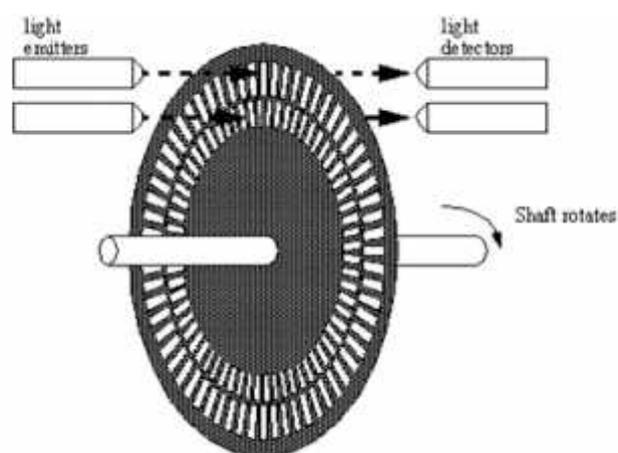
Penggunaan dari optocoupler tergantung dari kebutuhannya. Ada berbagai macam bentuk, jenis, dan type. Seperti MOC 3040 atau 3020, 4N25 atau 4N33 dan sebagainya. Pada umumnya semua jenis optocoupler pada lembar datanya mampu dibebani tegangan sampai 7500 Volt tanpa terjadi kerusakan atau kebocoran. Biasanya dipasaran optocoupler tersedianya dengan type 4NXX atau MOC XXXX dengan X adalah angka part valuenya. Untuk type 4N25 ini mempunyai tegangan isolasi sebesar 2500 Volt dengan kemampuan maksimal led

dialiri arus *forward* sebesar 80 mA. Namun besarnya arus led yang digunakan berkisar antara 15mA - 30 mA dan untuk menghubungkannya dengan tegangan +5 Volt diperlukan tahanan sekitar 1K ohm.

2.12 Rotary Encoder

Rotary encoder atau *Shaft Encoder* adalah suatu perangkat elektromekanik yang digunakan untuk mengkonversi perpindahan angular dari suatu poros menjadi kode-kode analog ataupun digital. Terdapat dua jenis utama dari *Rotary Encoder*, yaitu tipe absolut dan tipe *incremental*. *Absolute Rotary Encoder* menghasilkan kode yang unik untuk tiap-tiap posisi sudut poros tertentu, sedangkan *Incremental Rotary Encoder* menghasilkan kode-kode yang bisa diterjemahkan sebagai jarak perpindahan sudut relatif terhadap posisi awal. Dalam tugas akhir ini yang digunakan adalah *Rotary Encoder* tipe *Incremental* karena pertimbangan biaya yang murah untuk kecermatan pembacaan yang cukup baik.

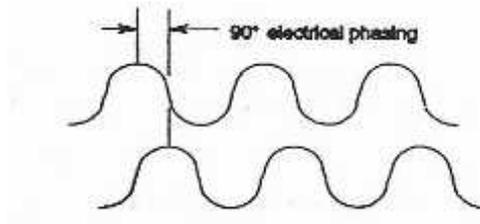
Incremental Encoder bekerja dengan cara menerjemahkan putaran poros *Encoder* tersebut menjadi sinar cahaya terputus-putus yang selanjutnya diolah menjadi bentuk pulsa-pulsa listrik. Sinar cahaya terputus-putus tersebut dihasilkan dari konstruksi gabungan sumber cahaya, *Glass Disk*, dan photosensor seperti pada gambar 2.21.



Gambar 2.32 Contoh skema konstruksi bagian dalam *Incremental Rotary Encoder*

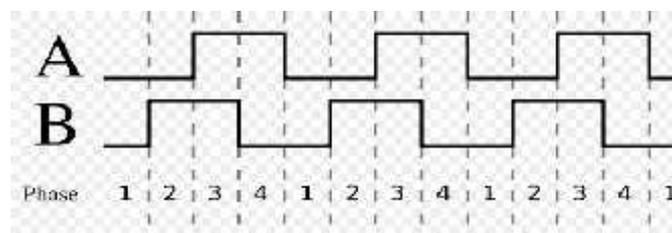
(Sumber : http://hades.mech.northwestern.edu/index.php/Rotary_Encoder)

Konstruksi berpasangan seperti gambar di atas akan menghasilkan dua buah sinyal sinusoidal seperti pada gambar 2.22. Perbedaan fasa sebesar 90 derajat diperoleh dengan cara mengatur posisi relatif diantara kedua fotosensor yang ada.



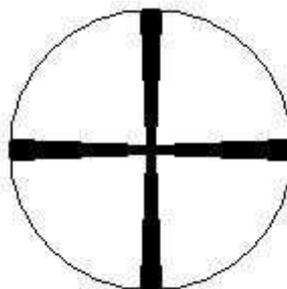
Gambar 2.33 Output sinusoidal dari dua buah fotosensor
(Sumber : http://hades.mech.northwestern.edu/index.php/Rotary_Encoder)

Sinyal tersebut kemudian diubah oleh suatu rangkaian Schmitt Trigger menjadi bentuk pulsa. Gabungan kedua pulsa, yang disebut pulsa A dan B ini kemudian digolongkan ke dalam empat kondisi seperti pada gambar 2.23, sehingga disebut *quadrature outputs*..



Gambar 2.34 Quadrature outputs
(Sumber : http://hades.mech.northwestern.edu/index.php/Rotary_Encoder).

2.12.1 Logika Perhitungan RPM



Gambar 2.35 Piringan Encoder 4 Lubang

(Sumber: <http://:encoder-4-lubang.jpg>, diakses tanggal 20 April 2015)

Encoder yang digunakan adalah tipe piringan yang menggunakan lubang atau garis hitam-putih, banyaknya lubang adalah 4 buah lubang maka 1 putaran = 4 lubang.

Kasus 1: Interupsi eksternal mendeteksi 2400 lubang dalam waktu 1 menit yang berarti :

1 menit terdeteksi 2400 lubang (Clock lubang), maka
 $2400 / 4 = 600$ putaran atau 600 RPM

Kasus 2: Interupsi eksternal mendeteksi 1800 lubang dalam waktu 30 detik yang berarti :

30 detik = $30/60 = 0,5$ menit
 $1800 / 4 = 450$ putaran dalam 30 detik, maka
 $450 / 0,5 = 900$ RPM

Kasus 3: Interupsi eksternal mendeteksi 60 lubang dalam waktu 200 mS yang berarti :

200 mS = $200 / 60000 = 0,0033333$ menit
 $60 / 4 = 15$ putaran dalam 200 mS, maka
 $15 / 0,0033333 = 4500,045$ RPM

Kasus 4: Interupsi eksternal mendeteksi 100 lubang dalam waktu 1 S yang berarti:

1 S = $1 / 60 = 0,016667$ menit
 $100 / 4 = 25$ putaran dalam 1 S, maka
 $25 / 0,016667 = 1.499,97$ RPM

Berikut adalah rumus Konversi Rpm ke Kecepatan (Km/Jam) :

$$\text{Kecepatan (Cm/detik)} = \text{Rps} \times 2 \times r$$

$$\text{Kecepatan (Km/jam)} = \text{Kecepatan (Cm/detik)} \times 0.036$$

Keterangan :

Rps = *Revolutions per second*

Rpm = Rps x 60

$$2 = 6.28$$

r = Jari- jari piringan Encoder

$$1 \text{ Cm/detik} = 0.036 \text{ Km/Jam}$$