

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 29 mei 2016
pukul 12.40)

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.

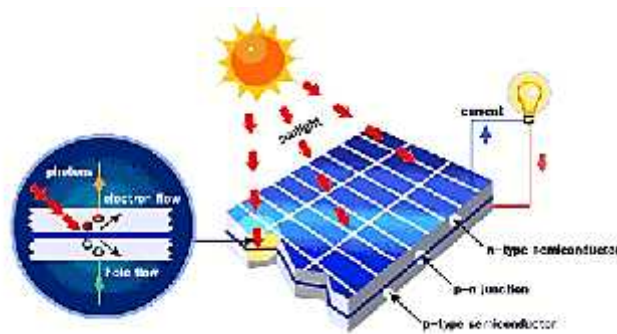


Gambar 2.2 Mobil Listrik PT. PINDAD sebagai pengujian Motor Listrik
(sumber : Dr. Agus Purwadi, *Penelitian dan Pengembangan Mobil Listrik Nasional 2014*)

2.2 Solar Cell

2.2.1 Pengertian Solar Cell (Photovoltaic)

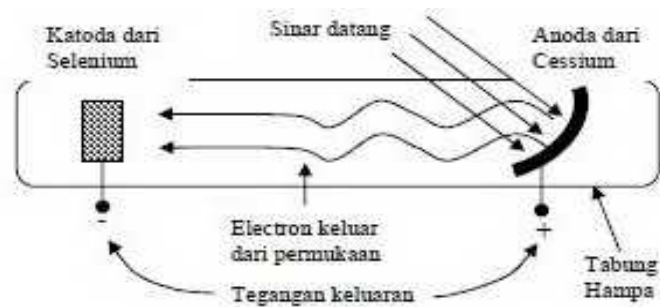
Solar Cell atau panel surya adalah komponen elektronika yang mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik. *Photovoltaic* (PV) adalah teknologi yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik. PV biasanya dikemas dalam sebuah unit yang disebut modul. Dalam 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 energi 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 29 mei 2016 pukul 12.40)

Efek sel photovoltaik terjadi akibat lepasnya elektron yang disebabkan adanya cahaya yang mengenai logam. Logam-logam yang tergolong golongan 1 pada sistem periodik unsur-unsur seperti Lithium, Natrium, Kalium, dan Cesium sangat mudah melepaskan elektron valensinya. Selain karena reaksi redoks, elektron valensi logam-logam tersebut juga mudah lepas oleh adanya cahaya yang mengenai permukaan logam tersebut. Diantara logam-logam diatas Cesium adalah logam yang paling mudah melepaskan elektronnya, sehingga lazim digunakan sebagai foto detektor.



Gambar 2.4 Proses Pembangkitan Tegangan Pada *Solar Cell*

(<http://elektronika-dasar.web.id/komponen/sensor-transducer/solar-cell/>, diakses terakhir tanggal 29 mei 2016 pukul 12.40)

Tegangan yang dihasilkan oleh sensor foto voltaik sebanding dengan frekuensi gelombang cahaya (sesuai konstanta Plank $E = h \cdot f$). Semakin

kearah warna cahaya biru, makin tinggi tegangan yang dihasilkan. Tingginya intensitas listrik akan berpengaruh terhadap arus listrik. Bila foto voltaik diberi beban maka arus listrik dapat dihasilkan tergantung dari intensitas cahaya yang mengenai permukaan semikonduktor.

2.2.2 Karakteristik *Solar Cell Maxeon*



Gambar 2.5 Solar Cell Maxeon

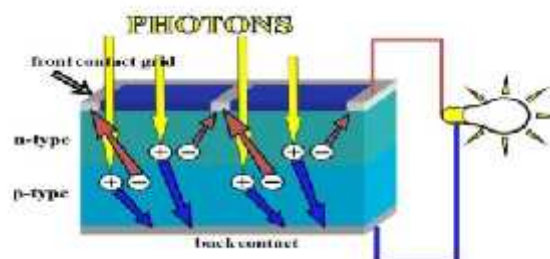
Sumber : <https://www.tokopedia.com/energibaik/solar-panel-sunpower-maxeon-32w-monocrystalline-wafer>

Solar Cell Maxeon adalah salah satu *Solar Cell* yang terbaik saat ini hal ini dikarenakan spesifikasinya 22,4 % lebih baik dibandingkan yang biasa dan pada umumnya memiliki ketebalan 145 μm , yang terbuat dari irisan bahan Monocrystalline dengan salah satu keunggulannya Semi Fleksibel membuatnya lebih tidak mudah pecah. 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 Maxeon* yang digunakan adalah:

Rated Max Power	: 3.34-3.5W 5% (w)
Grade	:A
Tegangan kerja	: 0,574 V
Bekerja sekarang	: 5.83 A
Singkat tegangan rangkaian	: 0.682V
Pendek arus	: 6.24A
Bahan	: silikon Monocrystalline
Tebal	: 145 μ m

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

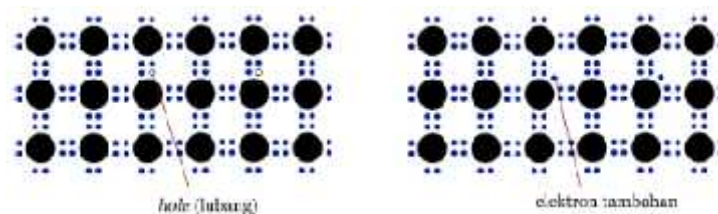
Solar Cell merupakan suatu perangkat semi konduktor yang dapat menghasilkan listrik jika diberikan sejumlah energi cahaya. Proses penghasilan energi listrik terjadi jika pemutusan ikatan elektron pada atom-atom yang tersusun dalam kristal semikonduktor ketika diberikan sejumlah energi. Salah satu bahan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



Gambar 2.6 Prinsip Kerja Solar Cell

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

2.2.3.1 Semikonduktor Tipe-P dan Tipe-N

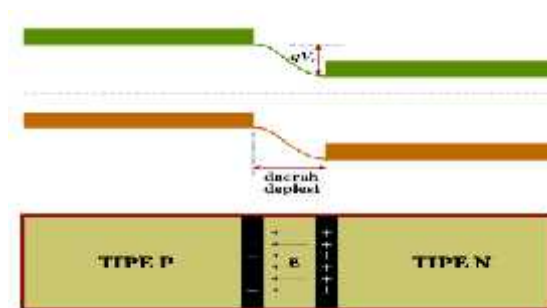


Gambar 2.7 Semikonduktor Tipe-P (Kiri) dan Tipe-N (Kanan)

(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.

2.2.3.2 Sambungan P-N



Gambar 2.8 Diagram Energi Sambungan P-N Munculnya Daerah Deplesi
(Sumber : Ady Iswanto, Staf Divisi Riset 102FM ITB, 2008)



Gambar 2.9 Struktur *Solar Cell* Silikon p-n Junction
(Sumber : http://solarcell.com.jpg/struktur_solar_cell, Diakses: 29 mei 2016
pukul 12.40)

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*.

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 2.10 Hubungan Seri

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

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

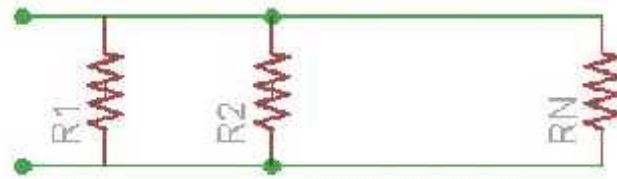
$$V_{\text{total}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_n \dots \dots \dots (1)$$

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 2.11 Hubungan Paralel

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

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

$$V_{\text{total}} = V_1 = V_2 = V_3 = V_n \dots \dots \dots (3)$$

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).

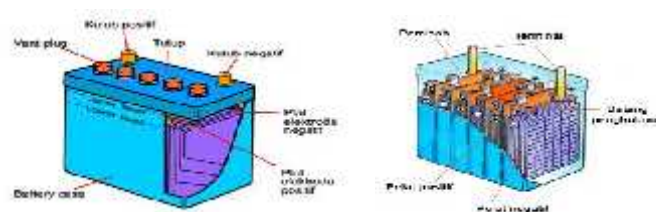
Jenis *Accu* yang umum digunakan adalah *Accumulator* timbal. Secara fisik *Accu* ini terdiri dari dua kumpulan pelat yang dimasukkan pada larutan asam sulfat encer (H_2SO_4). Larutan elektrolit itu ditempatkan pada wadah atau bejana *Accu* yang terbuat dari bahan ebonit atau gelas. Kedua belah pelat 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 Jenis-jenis dan Cara Kerja *Accu*

Accu yang ada di pasaran ada 2 jenis yaitu *Accu* basah dan *Accu* kering. *Accu* basah media penyimpanan 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 2.11).

Dalam *Accu* terdapat elemen dan sel untuk penyimpanan 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 2.12 Sel Accu

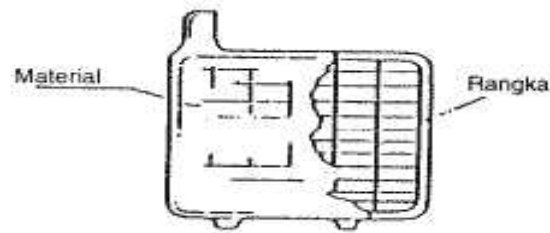
(Sumber: id.m.wikipedia.org/akumulator, diakses terakhir tanggal 29 mei 2016 pukul 12.40)

Accu memiliki 2 kutub/terminal, kutub positif dan kutub negatif. Biasanya kutub positif (+) lebih besar dari kutub negatif (-), untuk menghindarkan 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

2.3.2.1 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 2.13).

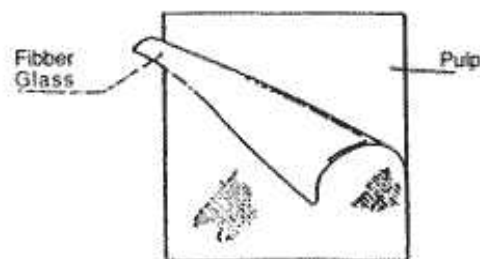


Gambar 2.13 Plat Sel *Accu*

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

2.3.2.2 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 2.14).



Gambar 2.14 Lapisan Serat Gelas

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

2.3.2.3 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.

2.3.2.4 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.

2.3.2.5 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.

2.3.2.6 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 AVR

Mikrokontroler AVR merupakan mikrokontroler berbasis arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computing*) 8 bit. Berbeda dengan mikrokontroler keluarga 8051 yang mempunyai arsitektur CISC (*Complex Instruction Set Computing*), AVR menjalankan sebuah instruksi tunggal dalam satu siklus dan memiliki struktur I/O yang cukup lengkap sehingga penggunaan komponen eksternal dapat dikurangi. Mikrokontroler AVR didesain menggunakan arsitektur Harvard, di mana ruang dan jalur bus bagi memori program dipisahkan dengan memori data. Memori program

diakses dengan single-level pipelining, di mana ketika sebuah instruksi dijalankan, instruksi lain berikutnya akan di-prefetch dari memori program.

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*)

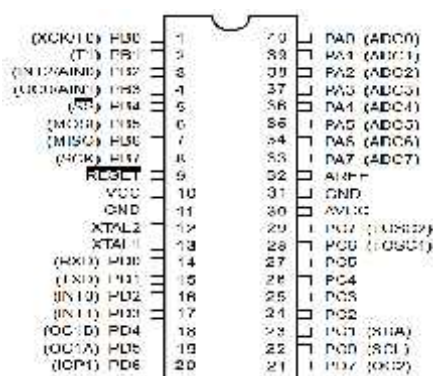
- Sebuah *Central Processing Unit* 8 bit.
- Osilator: Internal dan rangkaian pewaktu.
- RAM internal 128 byte.
- *Flash Memory* 2 Kbyte.
- Lima buah jalur interupsi (dua buah interupsi eksternal dan tiga buah interupsi internal).
- Empat buah *Programmable* port I/O yang masing – masing terdiri dari 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 2.15 Konfigurasi IC Mikrokontroler ATMega32

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

Penjelasan Pin:

VCC : Tegangan *Supply* (5 volt)

GND : *Ground*

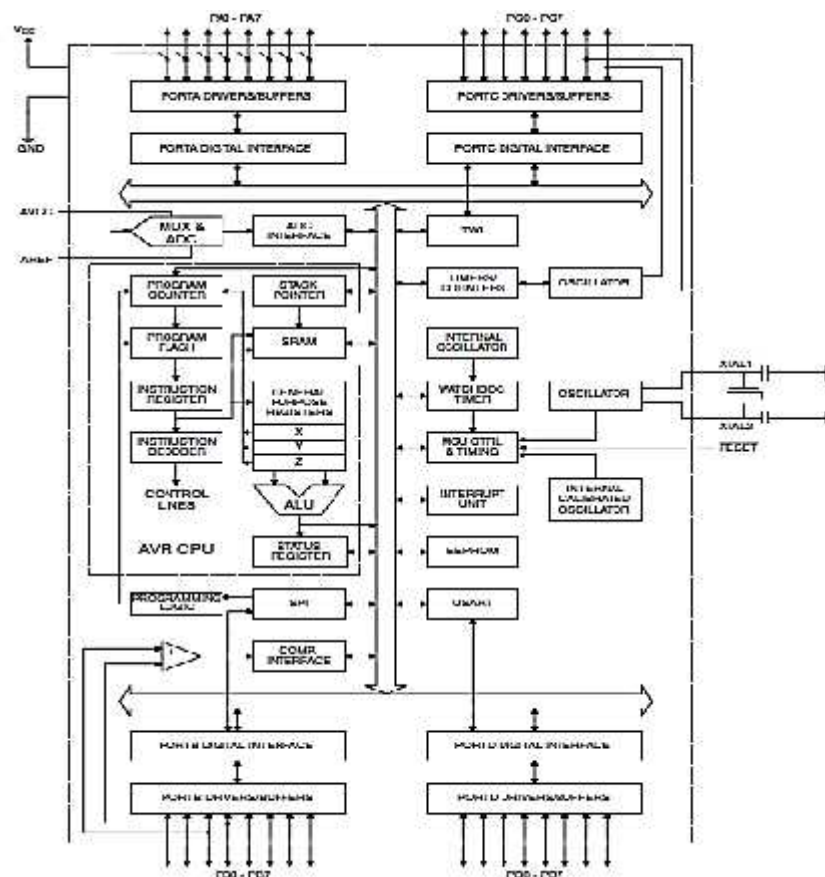
RESET : Input reset level rendah pada pin ini selama lebih dari panjang pulsa minimum akan menghasilkan reset, walaupun *Clock* sedang berjalan.

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 2.16 Blok Diagram IC ATmega32

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

2.4.2.1 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).

2.4.2.2 Port B (PB0-PB7)

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

2.4.2.3 Port C (PC0-PC7)

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

2.4.2.4 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 eletro-magnet ketika bagian rotornya berputar.

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



Gambar 2.17 Konstruksi Motor BLDC

(Sumber: <http://motor-listrik-blhc.jpg>, diakses tanggal 29 mei 2016 pukul 12.40)

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.

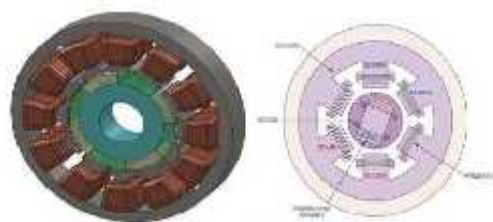
2.5.2.1 Rotor

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.

2.5.2.2 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 2.18 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.

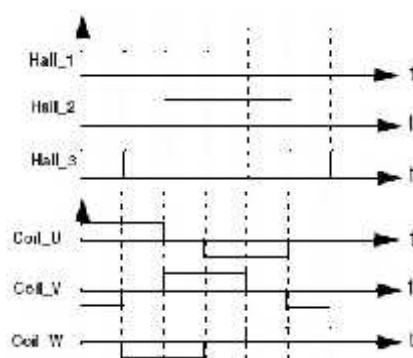
Karena berbanding lurus dengan faktor-faktor lain yang mempengaruhi torsi, maka kenaikan dan penurunan arus sangat berpengaruh pada besarnya torsi yang dihasilkan motor BLDC.

2.5.2.3 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.



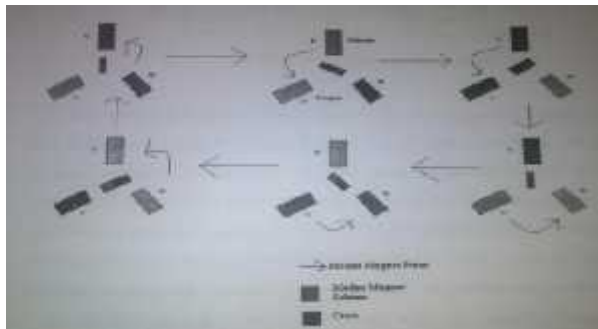
Gambar 2.19 Sensor Hall Sinyal Untuk Rotasi Kanan

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

2.5.3 Prinsip Kerja BLDC Motor

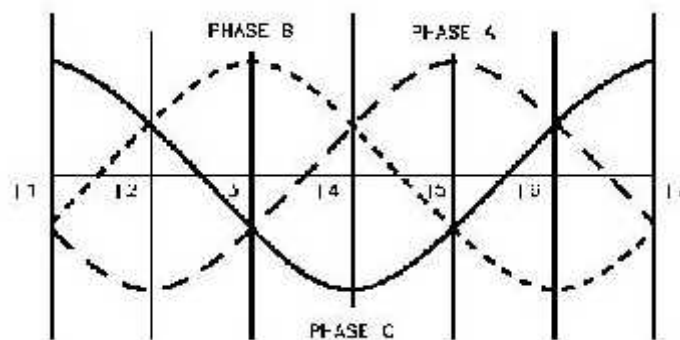
Motor BLDC ini dapat bekerja ketika stator yang terbuat dari kumparan diberikan arus 3 fasa. Akibat arus yang melewati kumparan pada stator timbul medan magnet.

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 2.20 Medan Magnet Putar Stator dan Perputaran Rotor
(Sumber: Azzumar Muhammad, *Jurnal Permodelan dan simulasi BLDC motor UI*, 2012)

Berdasarkan gambar 2.20, 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 2.21 Tegangan Stator BLDC

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

Berdasarkan gambar 2.21, 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 magnet permanen akan berputar menuju V dan bagian negatif akan menuju U dari kumparan W. Karena tegangan AC sinusoidal yang digunakan berlangsung secara kontinu, proses perubahan polaritas tegangan pada stator ini akan terjadi secara terus menerus sehingga menciptakan medan putar magnet stator dan magnet permanen rotor akan berputar mengikuti medan putar magnet stator ini. Hal inilah yang menyebabkan rotor pada BLDC dapat berputar.

2.5.4 Keunggulan BLDC Motor

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

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

- *High Power Density*, BLDC motor memiliki torsi berjalan tertinggi per inci kubik setiap motor DC.
- Keandalan tinggi, BLDC motor tidak memiliki sikat, yang berarti mereka lebih handal dan memiliki harapan hidup lebih dari 10.000 jam. Hal ini menghasilkan lebih sedikit kasus penggantian atau perbaikan secara keseluruhan.

2.6 Relay

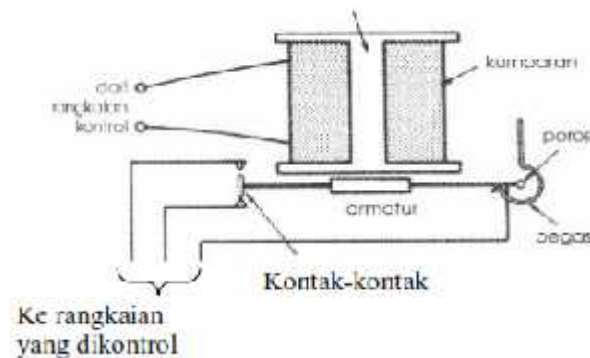


Gambar 2.22 Bentuk Fisik *Relay*

(Sumber: <http://www.produksielektronik.com/2013/10/Relay>, diakses tanggal 29 mei 2016 pukul 12.40)

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 2.23 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.

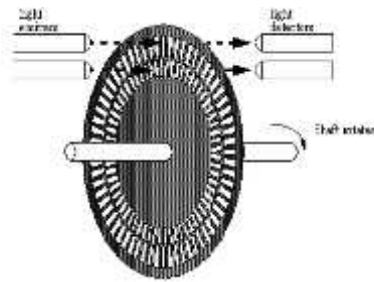
Penggunaan *Relay* perlu memperhatikan tegangan pengontrolnya serta kekuatan *Relay* memberi pilihan antara arus/tegangan. Biasanya ukurannya tertera pada *Body Relay*. Misalnya *Relay* 12VDC/4 A 220V, artinya tegangan yang diperlukan sebagai pengontrolnya adalah 12Volt DC dan

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*).

2.7 *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.

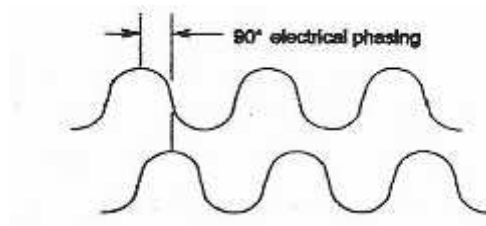
Incremental Encoder bekerja dengan cara menerjemahkan putaran poros *Encoder* tersebut menjadi sinar cahaya terputus-putus yang selanjutnya diolah menjadi bentuk pulsa-pulsa listrik. Sinar cahaya terputus-putus tersebut dihasilkan dari konstruksi gabungan sumber cahaya, *Glass Disk*, dan photosensor seperti pada gambar 2.24.



Gambar 2.24 Contoh skema konstruksi bagian dalam *Incremental Rotary Encoder*

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

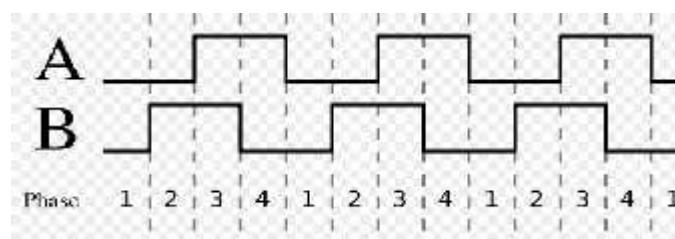
Konstruksi berpasangan seperti gambar di atas akan menghasilkan dua buah sinyal sinusoidal seperti pada gambar 2.24. Perbedaan fasa sebesar 90 derajat diperoleh dengan cara mengatur posisi relatif diantara kedua photosensor yang ada.



Gambar 2.25 Output sinusoidal dari dua buah photosensor

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

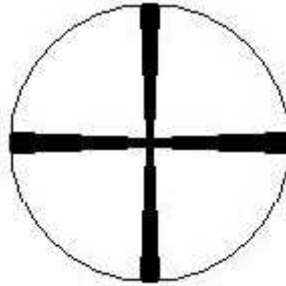
Sinyal tersebut kemudian diubah oleh suatu rangkaian Schmitt Trigger menjadi bentuk pulsa. Gabungan kedua pulsa, yang disebut pulsa A dan B ini kemudian digolongkan ke dalam empat kondisi seperti pada gambar 2.25, sehingga disebut *quadrature outputs*..



Gambar 2.26 Quadrature outputs

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

2.7.1 Logika Perhitungan RPM



Gambar 2.27 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 Cm/detik = 0.036 Km/Jam

2.8 Sirkuit LM2596 dan CN6009

Mengapa diperlukan DC to DC untuk menurunkan atau menaikkan voltase arus DC seperti arus baterai. Untuk menurunkan tegangan DC dengan selisih tidak berbeda jauh bisa menggunakan komponen sederhana. Umumnya digunakan komponen elektronik seperti tahanan atau resistor.

Tapi resistor hanya menurunkan tegangan voltase dengan input fix atau tetap. Misalnya menurunkan 5VDC ke 3VDC. Menggunakan potensio/resistor untuk menurunkan tegangan lebih mudah dan murah untuk dibuat, hanya saja dipengaruhi tegangan input DC ke output DC. Bila sumber input voltase DC turun, maka output dari tahanan ikut turun. Kecuali sumber DV input adalah tetap, seperti dari adaptor DC.

Kendala kedua untuk menurunkan tegangan dengan tahanan seperti resistor atau potensi belum tentu bisa menurunkan current besar (Ampere besar seperti 0,5Amp atau 1Amp). Seperti dalam 1.000mAh secara perlahan resistor menjadi panas, dan akan merusak tahanan atau potensi, kecuali menggunakan tipe komponen resistor khusus yang mampu dilewati beban amper tinggi.

Belum lagi mencari resistor di toko elektronik. Setelah menghitung ukuran tahanan resistor untuk menurunkan voltase, sudah di dapat kira kira 11k Ohm. Tapi

di toko elektronik belum tentu ada ukuran resistor tersebut, pasti penjual menawarkan ukuran sedikit diatas atau dibawa. Akhir bukan mendapatkan resistor dengan ukuran yang tepat, malah membuang waktu dan biaya. Setelah dipasang ternyata resistor tidak lama rusak karena arus yang melewati resistor terlalu besar.

Kebutuhan lain bila kita membutuhkan step-up DC to DC atau menaikkan tegangan DC to DC. Misalnya memerlukan voltase 9V DC, sedangkan sumber yang ada hanya 5V DC.

Dengan alat sirkuit sederhana ini dapat menaikkan tegangan arus DC lebih tinggi dari nilai tegangan input yang ada. Seperti input bisa berubah ubah, sementara output voltase DC tetap stabil. Misalnya output yang di inginkan 9VDC, sedangkan sumber power DC yang anda miliki 5V atau 7V DC, selama tidak lebih dari 9V DC.

Contoh sumber arus 5V DC paling mudah di dapat dengan power bank. Dengan alat ini , output dapat dinaik turunkan, seperti ke 6V, 9V, 12V atau voltase diturunkan lebih rendah 3V sesuai voltase baterai serta 3,7V sesuai arus baterai lithium misalnya untuk lampu senter LED. Bahkan dapat diturunkan sampai ke 1.3V DC.

Anda membutuhkan salah satu sirkuit dibawah ini. Disebut alat Step Up atau Step Down. untuk menaikkan tegangan DC atau menurunkan tegangan DC Seperti gambar dibawah ini, keduanya memiliki fungsi berbeda. Satu sirkuit untuk menurunkan voltase dan satu lagi untuk menaikkan voltase DC



Gambar 2.28 Sirkuit LM2596 dan CN6009

(<http://obengplus.com/artikel/articles/226/1/Menaikan-tegangan-atau-menurunkan-tegangan-DC-to-DC-dengan-LM2596-dan-CN6009-untuk--DC-to-DC.html>)

Sirkuit LM2596 untuk step-down DC to DC dan CN6009 untuk step-up DC to DC. Kedua Alat sirkuit board tersebut adalah LM2596 dan CN6009 seperti sirkuit PCB board, memiliki 4 pin, 2 dikiri dan 2 di kanan

- 2 input DC (+ dan -)
- 2 output DC (+ dan -)

Kedua alat tersebut dilengkapi satu potensi yang mengatur output yang dibutuhkan.

- Alat LM2596 untuk menurunkan tegangan lebih rendah dari sumber power DC.
- Alat CN6009 untuk menaikkan tegangan lebih tinggi dari sumber input power DC.

Keunikan kedua modul tersebut memiliki output stabil sesuai kebutuhan anda Setelah di set dari potensio yang ada di board, maka sirkuit tersebut akan memberikan output tetap. Walau nantinya input DC yang diberikan berbeda beda tegangan sesuai batas yang ditentukan. Sebagai contoh dibawah ini

- Misalnya memiliki input DC 5V (seperti power bank). Lalu dinaikan menjadi voltase power 9V adaptor, maka outputnya akan tetap 9V. Bila diganti dengan adaptor 6 V DC, tegangan yang outputnya tetap 9V DC.
- Demikian juga untuk step-down. Berapa pun input yang dimasukan, asalkan pada output DC sudah diukur maka output DC dari PCB akan mengeluarkan tegangan DC yang sama.

Kedua perlengkapan ini sangat populer dibahas di media elektronik internet, karena harganya sangat murah dan fungsinya lebih tepat dengan output stabil. Dan ukurannya relatif kecil untuk menurunkan voltase atau menaikkan voltase. Sirkuit dibawah ini memiliki lebar sekitar 2 jari tangan. Untuk menggunakan alat menurunkan atau menaikkan tegangan , perlu diketahui batasan dari kedua perangkat. Kedua rangkaian elektronik tersebut memiliki kebutuhan power minimum dan maksimum, serta maksimum arus (Ampere) yang dilewati. Informasi spesifikasi dapat dilihat dibawah ini.

Tabel 2.1 Konversi DC to DC

Spesifikasi masing masing board	Step Down DC to DC	Step Up DC to DC
Input	4-35V DC	5 - 32V DC
Output	1.23V-30V DC	5.5 - 34V DC
Current Output	2A	3A
Efisiensi	92%	-
Chip Gen	LM2596	XL6009

Untuk menurunkan tegangan dari LM2596. Misalnya anda memiliki 5V DC dan ingin membuat arus DC 3V. Tentu bisa, dengan merubah posisi potensi dan diukur multimeter. Tapi anda tidak bisa menaikkan tegangan dari 5V ke 6V dengan alat ini. Karena 5V ke 6V DC adalah menaikkan tegangan dan bukan menurunkan tegangan.

Demikian juga dengan XL6009. Dapat menaikkan tegangan dari 5V ke 9V DC atau 7.4V DC. Tetapi sumber power dari 5V DC tidak dapat diturunkan menjadi 3V DC dengan alat XL6009. Karena fungsi sirkuit kecil tersebut menaikkan tegangan, dan bukan menurunkan tegangan voltase DC.

Untuk apa penggunaan step up dan step down DC to DC ini, manfaatnya dapat dilihat dibawah ini.

Untuk step down - Menurunkan tegangan DC.

- Kipas pendingin computer agar tidak terlalu berisik dapat diturunkan voltase sampai 9-10V DC dari sumber input 12VDC
- Adaptor 12V DC dapat diturunkan menjadi 9V. Misalnya dimanfaatkan untuk power modem yang membutuhkan power 9V DC sementara hanya tersedia adaptor 12V.
- Adaptor biasa dapat 9V diturunkan ke 5V, misalnya untuk mengisi smartphone atau powerbank.

- Atau menurunkan power DC 5V ke 3,7V DC seperti power baterai lithium dan kebutuhan bagi power tegangan lampu LED sekitar 3.0V sampai 3,7V DC
- Bahkan untuk menggantikan power baterai alat elektronik seperti mobil mobilan, alat cukur dan lainnya.

Untuk step up - Untuk menaikkan tegangan DC.

- Bila memerlukan power DC 9V, sedangkan sumber power hanya tersedia 5V. Dapat dirubah ke input 5V menjadi 9V dengan sirkuit PCB Step-up.
- Menaikan sumber power 5V DC dari powerbank menjadi 6 V DC pada lampu emergency sebagai pengganti baterai AA atau Baterai Accu
- Menaikan sumber power 9V DC menjadi 12V DC untuk adaptor modem atau perangkat lain.
- Merubah arus DC baterai Lithium 3.7V DC menjadi $3 \times 1,5V = 4.5V$ DC seperti baterai mainan anak anak.

Dan banyak lagi fungsi kedua perangkat tersebut. Asalkan beban ampere tidak melewati batas yang disarankan.

Dibawah ini bagan dari input dan ouput. Input DC dapat menggunakan baterai, adaptor, powerbank atau baterai lithium. Output nantinya di gunakan untuk perangkat elektronik, pengisian baterai powerbank lain, senter LED dan lainnya.