

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. Thomas Alva Edison adalah salah satu yang ikut mengembangkan mobil listrik pada awal kemunculan mobil listrik di dunia, pada masa itu Edison memperkenalkan baterai nikel-besi, yaitu baterai untuk menyimpan energi listrik yang digunakan untuk menggerakkan dinamo pada mobil listrik. Beberapa pembuat mobil seperti Detroit Electric dan Baker Electric, kemudian mengadopsi teknologi yang diperkenalkan Edison itu. Seperti gambar 2.1 dibawah ini ketika Edison memperkenalkan mobil listrik karyanya.



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](#)^E 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](#)^E , [^ Buddy](#)^E , [^ Citroën C1 ev'ie](#)^E , [^ Transit Connect Electric](#)^E , [^ Mercedes-Benz Vito E-Cell](#)^E , [^ Smart ED](#)^E , dan [^ Wheego Whip LiFe](#)^E .

Sampai pada awal tahun 2012, jumlah kendaraan listrik yang di [^ produksi massal](#)^E yang tersedia di dunia masih terbatas. Kebanyakan mobil listrik yang tersedia saat ini adalah [^ kendaraan listrik jarak dekat](#)^E (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](#)^E (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. Pada gambar 2.2, merupakan mobil listrik karya anak bangsa kerjasama antara ITS dan PT.PINDAD. 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](#)^E . 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 yang bekerja sama dengan PT.PINDAD 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 buatan ITS sebagai pengujian Motor Listrik
(sumber : Dr. Agus Purwadi, Penelitian dan Pengembangan Mobil Listrik Nasional 2014)

Selain mobil listrik sistem charging yang langsung dihubungkan dengan arus Ac, terdapat juga jenis mobil listrik dengan sistem charging dengan tenaga surya dimana mobil listrik ini menggunakan solar cell sebagai penangkap energi matahari yang kemudian dari solar cell tersebut energi listrik yang dihasilkan langsung disalurkan ke baterai sebagai sistem penchargernya menggantikan charger arus Ac.

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](http://solarsuryaindonesia.com)^E /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. Pada gambar 2.4 dijelaskan prinsip kerja solar cell dimana Proses penghasilan energi listrik terjadi jika pemutusan ikatan elektron pada atom-atom yang tersusun dalam kristal semikonduktor ketika diberikan sejumlah energi. Salah satu bahan semikonduktor yang biasa digunakan sebagai Solar Cell adalah kristal Silicon (Ady Iswanto : 2008).

Gambar 2.4 Prinsip Kerja Solar Cell
(Sumber : Ady Iswanto, Staf Divisi Riset 102FM ITB, 2008)

2.2.3.1 Semikonduktor Tipe-P dan Tipe-N

Gambar 2.5 Semikonduktor Tipe-P (Kiri) dan Tipe-N (Kanan)
(Sumber : Ady Iswanto, Staf Divisi Riset 102FM ITB, 2008)

Ketika suatu kristal Sillicon ditambahkan dengan unsur golongan kelima, misalnya arsen, maka atom-atom arsen itu akan menempati ruang diantara atom-atom silikon yang mengakibatkan munculnya elektron bebas pada material campuran tersebut. Elektron bebas tersebut berasal dari kelebihan elektron yang dimiliki oleh arsen terhadap lingkungan sekitarnya, dalam hal ini adalah Sillicon. Semikonduktor jenis ini kemudian diberi nama semikonduktor tipe-n. Hal yang sebaliknya terjadi jika kristal Sillicon ditambahkan oleh unsur golongan ketiga, misalnya boron, maka kurangnya elektron valensi boron dibandingkan dengan Sillicon mengakibatkan munculnya Hole yang bermuatan positif pada semikonduktor tersebut. Semikonduktor ini dinamakan semikonduktor tipe-p, seperti yang terlihat pada gambar 2.5 diatas. 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 Depleksi
(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)

Pada gambar 2.6 dijelaskan 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 depleksi 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. Seperti yang terlihat Pada gambar 2.7 digambarkan tentang struktur dari solar cell Silikon p-n Junction

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 menuju ke outputnya.

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

Sistem instalasi solar cell adalah sistem perancangan atau penggabungan solar cell – solar cell sehingga membentuk sebuah modul panel surya yang dapat menghasilkan energi listrik. Didalam sistem instalasi ini terdapat dua metode yang biasa dilakukan yaitu:

1. Rangkaian seri solar cell
2. Rangkaian paralel solar cell

Hampir disetiap modul solar cell yang ada saat ini menggunakan dua metode ini dalam perakitannya karena dua metode ini merupakan metode yang sangat efektif dan mudah dalam pengaplikasiannya.

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.

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

Arus Solar Cell sama apabila dihubungkan seri satu sama lain.

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

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 Paralel sama dengan satu solar cell.

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

Arus yang timbul dari hubungan ini langsung dijumlahkan.

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

2.3 Solar Charge Controller

Solar Charge Controller adalah komponen yang berfungsi sebagai pengatur arus listrik (Current Regulator) baik terhadap arus yang masuk dari panel PV maupun arus beban keluar / digunakan. Bekerja untuk menjaga baterai dari pengisian yang berlebihan (OverCharge), Ini mengatur tegangan dan arus dari panel surya ke baterai / accu.

Sebagian besar Solar PV 12 Volt menghasilkan tegangan keluar (V-Out) sekitar 16 sampai 20 volt DC, jadi jika tidak ada peraturan, baterai akan rusak dari pengisian tegangan yang berlebihan... yang umumnya baterai 12Volt membutuhkan tegangan pengisian (Charge) sekitar 13-14,8 volt (Tegantung Tipe Baterai/ accu) untuk dapat terisi penuh.

2.3.1 Fungsi dan fitur Solar Charge Controller:

1. Saat tegangan pengisian di baterai telah mencapai keadaan penuh, maka controller akan menghentikan arus listrik yang masuk ke dalam baterai untuk mencegah over charger dengan demikian ketahanan baterai akan jauh lebih tahan lama. Di dalam kondisi ini, listrik yang ter-supply dari panel surya akan langsung terdistribusi ke beban / peralatan listrik dalam jumlah tertentu sesuai dengan konsumsi daya peralatan listrik.
2. Saat voltase di baterai dalam keadaan hampir kosong, maka controller berfungsi menghentikan pengambilan arus listrik dari baterai oleh beban / peralatan listrik. Dalam kondisi voltase tertentu (umumnya sekitar 10% sisa voltase di baterai) , maka pemutusan arus beban dilakukan oleh controller. Hal ini menjaga baterai dan mencegah kerusakan pada sel – sel baterai. Pada kebanyakan model controller, indikator lampu akan menyala dengan warna tertentu (umumnya berwarna merah atau kuning) yang menunjukkan bahwa baterai dalam proses charging. Dalam kondisi ini, bila sisa arus di baterai kosong (dibawah 10%), maka pengambilan arus listrik dari baterai akan diputus oleh controller, maka peralatan listrik / beban tidak dapat beroperasi.

3. Pada controller tipe – tipe tertentu dilengkapi dengan digital meter dengan indikator yang lebih lengkap, untuk memonitor berbagai macam kondisi yang terjadi pada sistem PLTS dapat terdeteksi dengan baik.

2.3.2 Charging Mode Solar Charge Controller

Dalam charging mode, umumnya baterai diisi dengan metoda three stage charging:

- Fase bulk: baterai akan di-charge sesuai dengan tegangan setup (bulk – antara 13.4 – 14.8 Volt) dan arus diambil secara maksimum dari panel surya. Pada saat baterai sudah pada tegangan setup (bulk) dimulailah fase absorption.
- Fase absorption: pada fase ini, tegangan baterai akan dijaga sesuai dengan tegangan bulk, sampai solar charge controller timer (umumnya satu jam) tercapai, arus yang dialirkan menurun sampai tercapai kapasitas dari baterai.
- Fase float: baterai akan dijaga pada tegangan float setting (umumnya 13.4 – 13.7 Volt). Beban yang terhubung ke baterai dapat menggunakan arus maksimum dari panel surya / solar cell pada stage ini.

2.3.3 Sensor Temperatur Baterai

Untuk solar charge controller yang dilengkapi dengan sensor temperatur baterai. Tegangan charging disesuaikan dengan temperatur dari baterai. Dengan menggunakan sensor ini akan didapatkan sistem penchargingan dan ketahanan usia baterai yang optimal. Apabila solar charge tidak memiliki sensor

2.4 Accu (Baterai yang digunakan pada mobil listrik)

Accumulator / Accu atau sering disebut sebagai salah satu jenis baterai , 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).

2.4.1 Macam dan Cara Kerja Accu

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

Dalam Accu terdapat elemen dan sel untuk penyimpan arus yang mengandung asam sulfat (H_2SO_4). Tiap sel berisikan pelat positif dan pelat negatif. Pada pelat positif terkandung oksid timbal coklat (PbO_2), sedangkan pelat negatif mengandung timbal (Pb). Pelat-pelat ditempatkan pada batang penghubung. Pemisah atau Separator menjadi isolasi diantara pelat itu, dibuat agar baterai acid mudah beredar disekeliling pelat. Bila ketiga unsur kimia ini berinteraksi, munculah arus listrik.

Gambar 2.10 Sel Accu

(Sumber: id.m.wikipedia.org/akumulator, diakses terakhir tanggal 16 Juni 2016)

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.

2.4.2 Konstruksi Accu

Didalam sebuah accu terdapat berbagai komponen – komponen penyusunnya. Komponen – komponen ini yang nantinya apabila digabungkan menjadi satu – kesatuan akan menghasilkan energi listrik dan membuat accu tersebut dapat berfungsi sesuai

dengan telah ditetapkan. Berikut adalah komponen – komponen penyusun 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 (Connector) menghubungkan sel sel secara seri. Penghubung sel ini terbuat dari paduan

timbangan 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.

2.5 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 kebutuhan pasar, mikrokontroler hadir untuk memenuhi selera industri dan para konsumen akan kebutuhan dan keinginan alat-alat bantu dan mainan yang lebih canggih.

2.5.1 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.

2.5.2 Karakteristik Mikrokontroler ATmega32

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

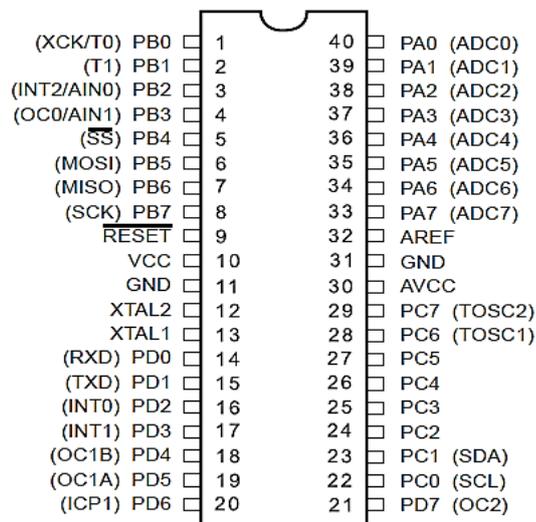
- Sebuah Central Processing Unit 8 bit.
- Osilator: Internal dan rangkaian pewaktu.
- RAM internal 128 byte.
- Flash Memory 2 Kbyte.
- Lima buah jalur interupsi (dua buah interupsi eksternal dan tiga buah interupsi internal).
- Empat buah Programmable port I/O yang masing – masing terdiri dari delapan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



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*

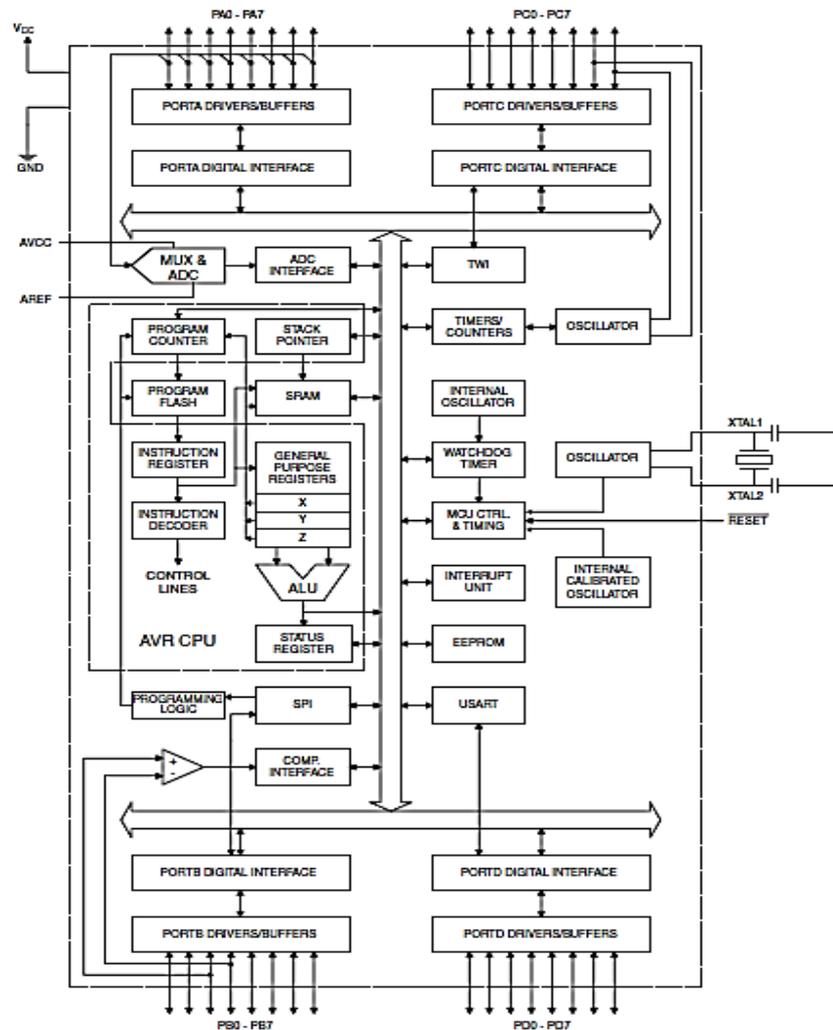
RESET : Input reset level rendah pada pin ini selama lebih dari panjang pulsa minimum akan menghasilkan reset, walaupun *Clock* sedang berjalan.

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)

Dari gambar 2.14 diatas dapat dijelaskan sebagai berikut.

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).

2.6 Motor Listrik BLDC

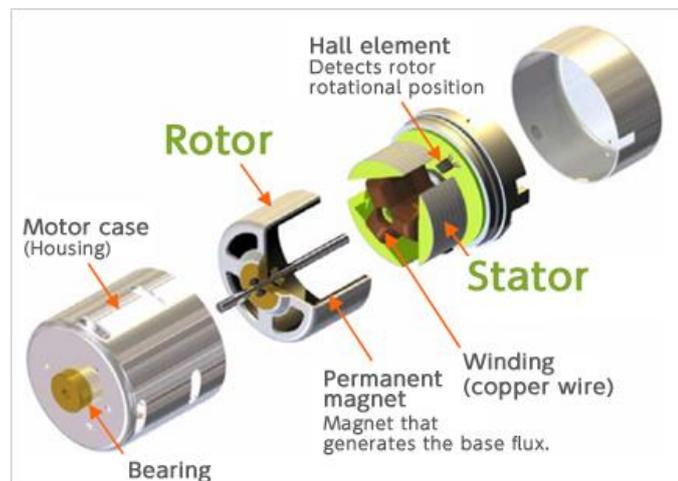
Motor arus searah adalah sebuah motor yang membutuhkan tegangan dc untuk menjalankannya. Pada umumnya motor jenis ini menggunakan sikat dan mengoperasikannya sangat mudah tinggal dihubungkan dengan *Battery* sehingga motor langsung berputar. Jenis motor ini memerlukan perawatan pada sikatnya serta banyak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

2.6.1 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 (*Simpler Computer System*), maka kita dapat merubah arus di elektro-magnet ketika bagian rotornya berputar.

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



Gambar 2.15 Konstruksi Motor BLDC

(Sumber: <http://motor-listrik-blcd.jpg>, diakses tanggal 16 Juni 2016)

2.6.2 Konstruksi BLDC Motor

Pada gambar 2.15 dapat dilihat konstruksi motor BLDC dimana 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.

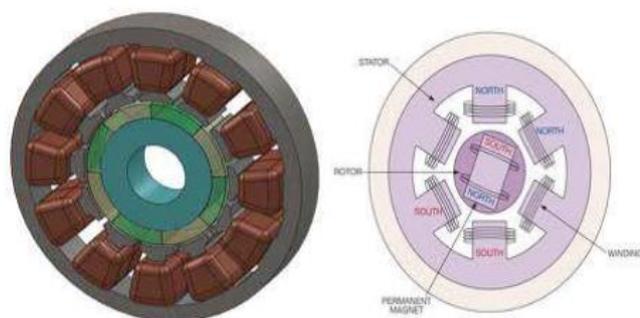
1. Rotor

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 seperti yang terlihat pada gambar 2.16 dibawah ini.



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:

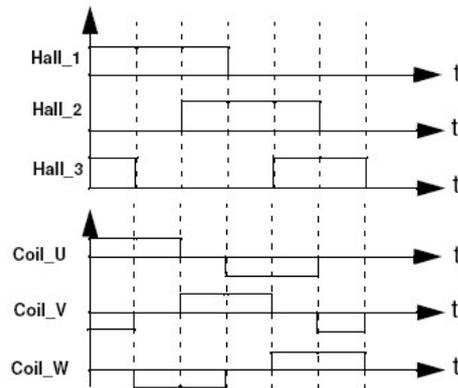
Ketika motor BLDC sudah dibuat, jumlah lilitan pada stator dan besarnya medan magnet yang dihasilkan nilainya sudah dibuat konstan sehingga yang mempengaruhi besarnya EMF balik adalah besarnya kecepatan sudut yang dihasilkan motor, semakin besar kecepatan sudut yang dihasilkan. Perubahan besarnya EMF 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. Pada gambar 2.17 dibawah ini dapat dilihat sensor Sensor Hall Sinyal Untuk Rotasi Kanan.



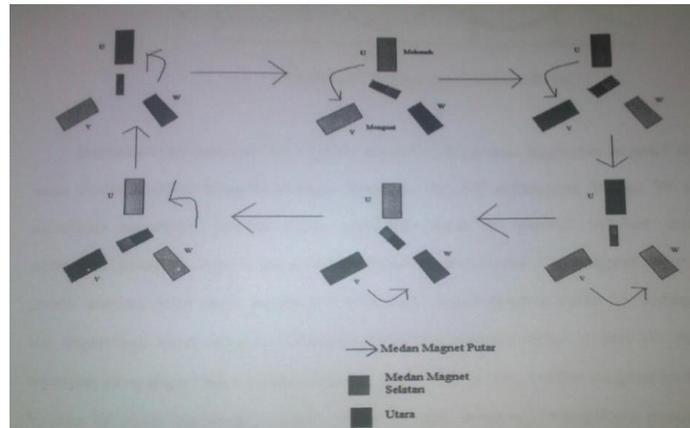
Gambar 2.17 Sensor Hall Sinyal Untuk Rotasi Kanan

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

2.6.3 Prinsip Kerja BLDC Motor

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

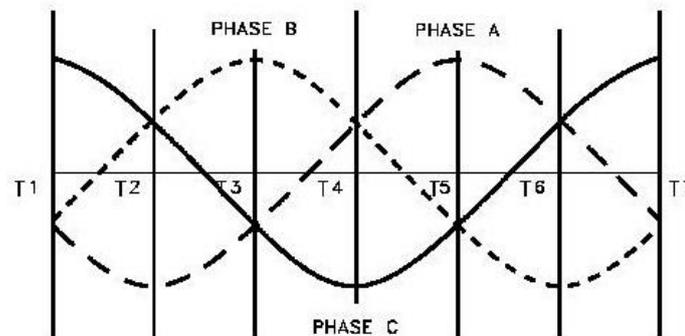
Karena arus yang diberikan berupa arus AC 3 fasa sinusoidal, nilai medan magnet dan polarisasi setiap kumparan akan berubah-ubah setiap saat. Akibat yang ditimbulkan dari adanya perubahan polarisasi dan besar medan magnet tiap kumparan adalah terciptanya medan putar magnet dengan kecepatan :



Gambar 2.18. Medan Magnet Putar Stator dan Perputaran Rotor

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

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



Gambar 2.19 Tegangan Stator BLDC

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

Berdasarkan gambar 2.19, ketika stator U diberikan tegangan Negatif maka akan timbul medan magnet dengan polaritas negatif sedangkan V dan W yang diberikan tegangan positif akan memiliki polaritas positif. Akibat adanya perbedaan polaritas antara medan magnet kumparan stator dan magnet rotor, sisi positif magnet rotor akan berputar mendekati medan magnet stator U, sedangkan sisi negatifnya akan berputar mengikuti medan magnet stator V dan W. Akibat

tegangan yang digunakan berupa tegangan AC *Sinusoidal*, medan magnet stator U, V, dan W akan berubah-ubah polaritas dan besarnya mengikuti perubahan tegangan sinusoidal AC. Ketika U dan V memiliki medan magnet negatif akibat mendapatkan tegangan negatif dan W memiliki medan magnet positif akibat tegangan positif, magnet permanen rotor akan berputar menuju ke polaritas yang bersesuaian yakni bagian negatif akan berputar menuju medan magnet stator W dan sebaliknya bagian positif akan berputar menuju medan magnet stator U dan V. Selanjutnya ketika V memiliki medan magnet negatif dan U serta W memiliki medan magnet positif, bagian positif bagian positif magnet permanen akan berputar menuju V dan bagian negatif akan menuju U dari kumparan W. Karena tegangan AC sinusoidal yang digunakan berlangsung secara kontinu, proses perubahan polaritas tegangan pada stator ini akan terjadi secara terus menerus sehingga menciptakan medan putar magnet stator dan magnet permanen rotor akan berputar mengikuti medan putar magnet stator ini. Hal inilah yang menyebabkan rotor pada BLDC dapat berputar.

2.6.4 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.

2.7 Sensor

Sensor adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk mendeteksi gejala – gejala atau sinyal – sinyal yang berasal dari perubahan suatu energi seperti energi listrik, energi fisika, energi kimia, energi biologi, energi mekanik, dan sebagainya.

Kebanyakan sensor bekerja dengan mengubah beberapa parameter fisik seperti temperatur atau posisi ke dalam sinyal listrik. Ini sebabnya mengapa sensor juga dikenal sebagai transduser yaitu suatu peralatan yang mengubah energi dari satu bentuk ke bentuk yang lain.

Binary sensor mengeluarkan dua output sinyal, yaitu status switching “on” dan “off”. Kedua status ini dikonversi ke bilangan biner dengan 1 untuk “on” dan 0 untuk “off”. Sedangkan analogue sensor merupakan transduser dimana merubah besaran fisik menjadi besaran elektrik. Dengan kata lain, sensor analog membangkitkan perubahan sinyal elektrik berupa sinyal elektrik berupa perubahan arus atau tegangan secara terus menerus sesuai sinyal inputannya. Berikut adalah macam – macam sensor, yaitu:

Sensor cahaya, Sensor Tekanan, Sensor Ultrasonik, Sensor Kecepatan (RPM), Sensor Magnet, Sensor Penyandi (Encoder), dan Sensor Arus.

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.

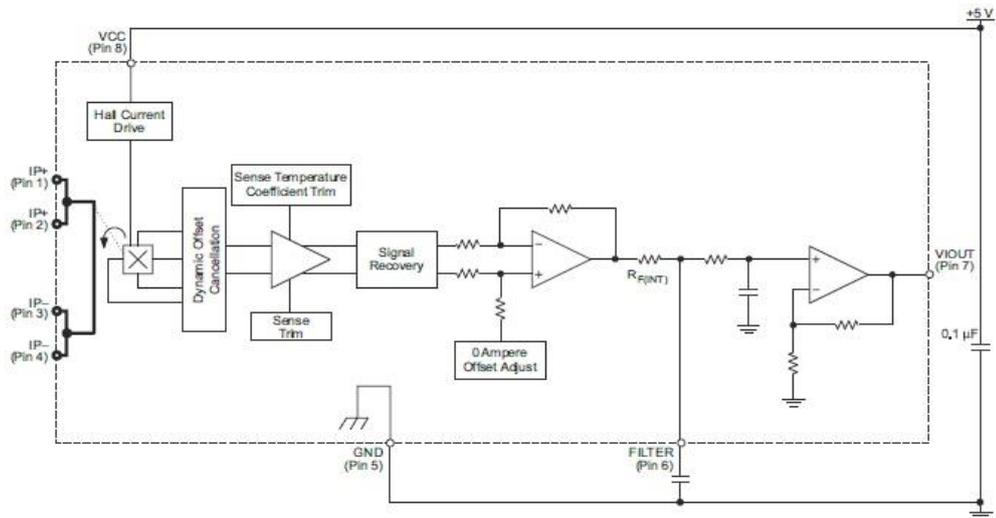
Berikut ini adalah karakteristik dari sensor arus ACS712 :

- 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 $1.2\text{ m}\Omega$
- 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



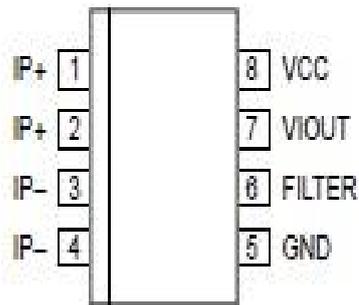
Gambar 2.20 Kemasan dari IC ACS712

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



Gambar 2.21 rangkaian skematik dari IC ACS712

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



Gambar 2.22 Konfigurasi Pin dari IC ACS712

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

Tabel 2.1 dibawah ini menunjukkan konfigurasi tiap-tiap pin pada IC ACS712 beserta fungsinya.

Tabel 2.1 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

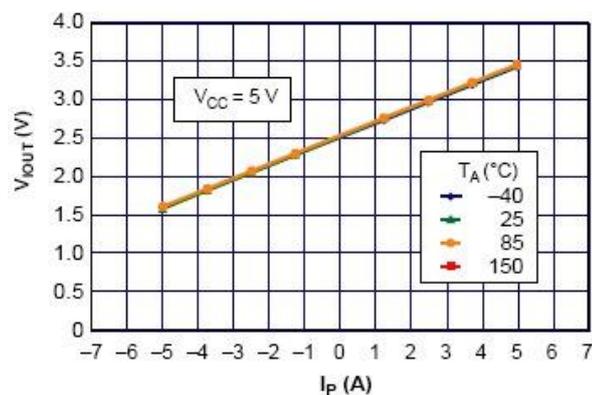
	<i>bandwith</i>
Vlout	Terminal keluaran sinyal analog
Vcc	Terminal masukan catu daya

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

Tabel 2.2 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 2.23 Grafik Tegangan Keluaran Sensor ACS712 Terhadap Arus Listrik

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

2.8 Arduino Uno

Uno Arduino adalah board berbasis mikrokontroler pada ATmega328. *Board* ini memiliki 14 digital input / output pin (dimana 6 pin dapat digunakan sebagai *output PWM*), 6 input *analog*, 16 MHz *osilator* kristal, koneksi USB, jack listrik tombol reset. Pin-pin ini berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler, hanya terhubung ke komputer dengan kabel USB atau sumber tegangan bisa didapat dari adaptor AC-DC atau baterai untuk menggunakannya.

2.8.1 Fitur Board Arduino Uno

Board *Arduino Uno* memiliki fitur-fitur baru sebagai berikut :

- 1,0 pinout: tambah SDA dan SCL pin yang dekat ke pin aref dan dua pin baru lainnya ditempatkan dekat ke pin RESET, dengan IO REF yang memungkinkan sebagai *buffer* untuk beradaptasi dengan tegangan yang disediakan dari board sistem. Pengembangannya, sistem akan lebih kompatibel dengan *Prosesor* yang menggunakan AVR, yang beroperasi dengan 5V dan dengan *Arduino* Karena yang beroperasi dengan 3.3V. Yang kedua adalah pin tidak terhubung, yang disediakan untuk tujuan pengembangannya.



Gambar 2.24 Board *Arduino Uno*

2.8.2 Deskripsi Arduino UNO

Tabel 2.3 Deskripsi Arduino Uno

<i>Mikrokontroller</i>	Atmega328
<i>Operasi Voltage</i>	5V
<i>Input Voltage</i>	7-12 V (Rekomendasi)
<i>Input Voltage</i>	6-20 V (limits)
I/O	14 pin (6 pin untuk PWM)
Arus	50 mA
Flash Memory	32KB
Bootloader	SRAM 2 KB
EEPROM	1 KB
Kecepatan	16 hz

2.8.3 Catu Daya

Uno Arduino dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan catu daya eksternal. Sumber listrik dipilih secara otomatis. Eksternal (non- USB) daya dapat datang baik dari AC-DC adaptor atau baterai. Adaptor ini dapat dihubungkan dengan cara menghubungkannya *plug* pusat-positif 2.1mm ke dalam board colokan listrik. Lead dari baterai dapat dimasukkan ke dalam *header* pin Gnd dan Vin dari konektor *Power*.

Board dapat beroperasi pada pasokan daya dari 6 - 20 volt. Jika diberikan dengan kurang dari 7V, bagaimanapun, pin 5V dapat menyuplai kurang dari 5 volt dan *board* mungkin tidak stabil. Jika menggunakan lebih dari 12V, regulator tegangan bisa panas dan merusak *board*. Rentang yang dianjurkan adalah 7 - 12 volt.

Pin catu daya adalah sebagai berikut:

- VIN. Tegangan input ke *board* Arduino ketika menggunakan sumber daya eksternal (sebagai lawan dari 5 volt dari koneksi USB atau sumber daya lainnya diatur). Anda dapat menyediakan tegangan melalui pin ini, atau, jika memasok tegangan melalui colokan listrik, mengaksesnya melalui pin ini.
- 5V. Catu daya diatur digunakan untuk daya mikrokontroler dan komponen lainnya di *board*. Hal ini dapat terjadi baik dari VIN melalui regulator on-board, atau diberikan oleh USB .
- 3,3 volt pasokan yang dihasilkan oleh regulator on-board. Menarik arus maksimum adalah 50 mA.
- GND

2.8.4 Input & Output

Masing-masing dari 14 pin digital pada Uno dapat digunakan sebagai input atau output, menggunakan fungsi `pinMode()`, `digitalWrite()`, dan `digitalRead()`. Mereka beroperasi di 5 volt. Setiap pin dapat memberikan atau menerima maksimum 40 mA dan memiliki resistor pull-up internal dari 20-50 K Ω . Selain itu, beberapa pin memiliki fungsi khusus:

- Serial: 0 (RX) dan 1 (TX). Digunakan untuk menerima (RX) dan mengirimkan (TX) data TTL serial. Pin ini terhubung ke pin yang sesuai dari chip ATmega8U2 USB-to-Serial TTL.
- Eksternal Interupsi: 2 dan 3. Pin ini dapat dikonfigurasi untuk memicu interupsi pada nilai yang rendah, tepi naik atau jatuh, atau perubahan nilai. Lihat `attachInterrupt ()` fungsi untuk rincian.
- PWM: 3, 5, 6, 9, 10, dan 11. Menyediakan 8-bit output PWM dengan `analogWrite ()` fungsi.
- SPI: 10 (SS), 11 (mosi), 12 (MISO), 13 (SCK). Pin ini mendukung

komunikasi SPI menggunakan perpustakaan SPI.

- LED: 13. Ada built-in LED terhubung ke pin digital 13. Ketika pin adalah nilai TINGGI, LED menyala, ketika pin adalah RENDAH, itu off.

Uno memiliki 6 input analog, diberi label A0 melalui A5, masing-masing menyediakan 10 bit resolusi yaitu 1024 nilai yang berbeda. Secara default sistem mengukur dari tanah sampai 5 volt.

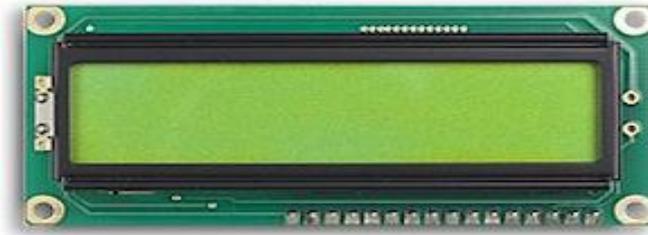
- TWI: A4 atau SDA pin dan A5 atau SCL pin. Mendukung komunikasi TWI
- Aref. Referensi tegangan untuk input analog. Digunakan dengan *analogReference ()*.
- Reset.

2.8.5 Komunikasi

Uno Arduino memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino lain, atau mikrokontroler lain. ATmega328 ini menyediakan UART TTL (5V) komunikasi serial, yang tersedia pada pin digital 0 (RX) dan 1 (TX). Sebuah ATmega16U2 pada saluran *board* ini komunikasi serial melalui USB dan muncul sebagai com port virtual untuk perangkat lunak pada komputer. *Firmware* Arduino menggunakan USB *driver* standar COM, dan tidak ada *driver* eksternal yang dibutuhkan. Namun, pada Windows, file. Inf diperlukan. Perangkat lunak Arduino termasuk monitor serial yang memungkinkan data sederhana yang akan dikirim ke *board* Arduino. RX dan TX LED di *board* akan berkedip ketika data sedang dikirim melalui chip USB-to-serial dan koneksi USB ke komputer. ATmega328 ini juga mendukung komunikasi I2C (TWI) dan SPI. Fungsi ini digunakan untuk melakukan komunikasi interface pada sistem.

2.9 LCD (*Liquid Crystal Display*) 16x2

LCD (*Liquid Cristal Display*) adalah salah satu jenis display elektronik yang dibuat dengan teknologi CMOS *logic* yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya tetapi memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap *front-lit* atau mentransmisikan cahaya dari *back-lit*. LCD (*Liquid Cristal Display*) berfungsi sebagai penampil data baik dalam bentuk karakter, huruf, angka ataupun grafik. Bentuk LCD 16 x 2 dapat dilihat pada gambar 2.41



Gambar 2.25 LCD 16x2

(Sumber : <http://www.hobbytronics.co.uk/lcd-16-2-backlight>, diakses tanggal 16 Juni 2016)

Fitur yang disajikan dalam LCD yaitu :

- Terdiri dari 16 karakter dan 2 baris
- Mempunyai 192 karakter tersimpan
- Terdapat karakter generator terprogram
- Dapat dialamati dengan mode 4-bit dan 8-bit
- Dilengkapi dengan back light

2.9.1 Material LCD

LCD adalah lapisan dari campuran organik antara lapisan kaca bening dengan elektroda transparan indium oksida dalam bentuk tampilan *seven-segment* dan lapisan elektroda pada kaca belakang. Ketika elektroda diaktifkan dengan medan listrik (tegangan), molekul organik yang panjang dan silindris menyesuaikan diri dengan elektroda dari segmen. Lapisan *sandwich* memiliki polarizer cahaya vertikal depan dan polarizer cahaya horisontal belakang yang diikuti dengan lapisan *reflektor*.

Cahaya yang dipantulkan tidak dapat melewati molekul-molekul yang telah menyesuaikan diri dan segmen yang diaktifkan terlihat menjadi gelap dan membentuk karakter data yang ingin ditampilkan.

2.9.2 Kontroler LCD (*Liquid Qristal Display*)

Kontroler dan penggerak LCD dapat menampilkan karakter alfanumerik, karakter Jepang (katakana), dan beberapa simbol. Kontroler ini mengandung ROM pembentuk karakter (character generator ROM) berukuran 9920 bit yang menghasilkan 240 karakter yang terdiri atas 208 karakter dengan resolusi 5x8 titik (dot, pixel) dan 32 karakter dengan resolusi 5x10 titik. Kontroler ini juga mengandung RAM pembentuk karakter yang dapat menyimpan 64 karakter 8 bit.

LCD dapat diprogram menggunakan mode 8-bit atau 4-bit. Mode 8-bit menggunakan 8-bit data (D0-D7) sedangkan mode 4-bit menggunakan 4-bit data (D4-D7). Pada halaman ini ditampilkan contoh pemrograman LCD 16x2 menggunakan mode 4-bit. Mode 4-bit memang sedikit lebih rumit dibanding mode 8-bit, akan tetapi dengan mode 4-bit kita akan menghemat 4 buah pin IO untuk keperluan yang lain.

Tabel 2.4 Pin dan Deskripsi LCD

Pin	Deskripsi
1	Ground
2	Vcc
3	Pengatur kontras
4	“RS” Instruction / Register Select
5	“R/W” Read/Write LCD Registers
6	“EN” Enable
7 – 14	Data I/O Pins
15	VCC
16	Ground

Dalam modul LCD (Liquid Cristal Display) terdapat microcontroller yang berfungsi sebagai pengendali tampilan karakter LCD (Liquid Cristal Display). Microntroller pada suatu LCD (Liquid Cristal Display) dilengkapi dengan memori dan register. Memori yang digunakan microcontroler internal LCD adalah :

- a. DDRAM (Display Data Random Access Memory) merupakan memori tempat karakter yang akan ditampilkan berada.
- b. CGRAM (Character Generator Random Access Memory) merupakan memori untuk mengGambarkan pola sebuah karakter dimana bentuk dari karakter dapat diubah-ubah sesuai dengan keinginan.
- c. CGROM (Character Generator Read Only Memory) merupakan memori untuk menggambarkan pola sebuah karakter dimana pola tersebut merupakan karakter dasar yang sudah ditentukan secara permanen oleh pabrikan pembuat LCD (Liquid Cristal Display) tersebut sehingga pengguna hanya mengambilnya alamat memori yang sesuai dan tidak dapat merubah karakter dasar yang ada dalam CGROM.

Register control yang terdapat dalam suatu LCD diantaranya yaitu :

- a. Register perintah yaitu register yang berisi perintah-perintah dari mikrokontroler ke panel LCD (Liquid Cristal Display) pada saat proses penulisan data atau tempat status dari panel LCD (Liquid Cristal Display) dapat dibaca pada saat pembacaan data.
- b. Register data yaitu register untuk menuliskan atau membaca data dari atau keDDRAM. Penulisan data pada register akan menempatkan data tersebut keDDRAM sesuai dengan alamat yang telah diatur sebelumnya.

Pin, kaki atau jalur input dan kontrol dalam suatu LCD (Liquid Cristal Display) diantaranya adalah :

- a. Pin data adalah jalur untuk memberikan data karakter yang ingin ditampilkan menggunakan LCD (Liquid Cristal Display) dapat dihubungkan

dengan bus data dari rangkaian lain seperti mikrokontroler dengan lebar data 8 bit.

- b. Pin RS (Register Select) berfungsi sebagai indikator atau yang menentukan jenis data yang masuk, apakah data atau perintah. Logika low menunjukkan yang masuk adalah perintah, sedangkan logika high menunjukkan data.
- c. Pin R/W (Read Write) berfungsi sebagai instruksi pada modul jika low tulis data, sedangkan high baca data.
- d. Pin E (Enable) digunakan untuk memegang data baik masuk atau keluar.
- e. Pin VLCD berfungsi mengatur kecerahan tampilan (kontras) dimana pin ini dihubungkan dengan trimpot 5 Kohm, jika tidak digunakan dihubungkan ke ground, sedangkan tegangan catu daya ke LCD sebesar 5 Volt.