

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. 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 pada *Power* yang mengurangi popularitas mobil listrik. Hal ini ditambah dengan kemampuan mobil bensin dapat menempuh jarak yang lebih jauh, pengisian bensin yang lebih cepat, dan infrastruktur pengisian semakin bertambah, ditambah dengan sistem produksi massal yang diterapkan oleh *Ford Motor Company*, membuat harga mobil bensin turun drastis sampai setengah harga mobil listrik. Mobil listrik juga menjadi semakin tidak populer, dan secara total menghilang, terutama di pasar ilegal seperti Amerika Serikat, pada tahun 1930-an. tetapi pada tahun sekarang ini, semakin banyak orang yang sadar akan dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh mobil berbahan bakar bensin, ditambah harga bensin yang mahal dan terus naik, membuat mobil listrik kembali diminati. Mobil listrik jauh lebih ramah lingkungan dari mobil bensin, biaya perawatan lebih murah, ditambah teknologi baterai yang semakin maju. Kekurangannya adalah harga mobil listrik saat ini masih belum terjangkau dalam kalangan menengah kebawah. Mobil listrik

saat ini mulai mendapatkan lagi popularitasnya di beberapa negara di dunia setelah sekian lama menghilang.



Gambar 2.1 Thomas Edison dan mobil listriknya tahun 1913
(sumber : http://wikipedia.org/wiki/Mobil_Listrik, diakses terakhir tanggal 15 Juni 2016)

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, *Truck Pick Up Ford Ranger EV*, GM EV1, *pick up S10 EV*, *Hatchback Honda EV Plus*, *Miniwagon Altra EV*, dan *Toyota RAV4 EV*. Mobil-mobil ini akhirnya ditarik peredarannya di pasar Amerika Serikat.

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

2009, dan mulai dijual pada perseorangan pada bulan April 2010. I Miev mulai dijual di Hong Kong bulan Mei 2010, dan Australia mulai Juli 2010.

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

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

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

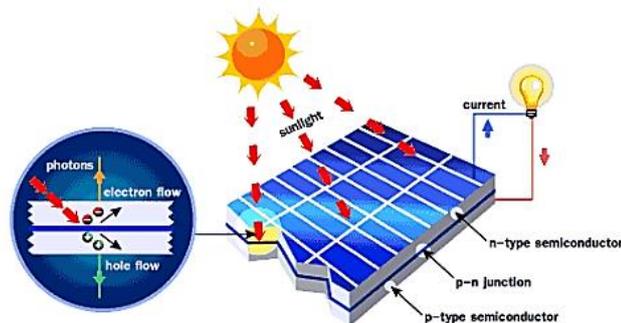


Gambar 2.2 Mobil Listrik PT. PINDAD sebagai pengujian Motor Listrik
(sumber : Dr. Agus Purwadi, *Penelitian dan Pengembangan Mobil Listrik Nasional 2014*)

2.2 Solar Cell

2.2.1 Pengertian Solar Cell (Photovoltaic)

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



Gambar 2.3 Skema Solar Cell

(Sumber : <http://solarsuryainonesia.com/tenaga-surya>, diakses terakhir tanggal 15 Juni 2016)

2.2.2 Karakteristik *Solar Cell (Photovoltaic)*

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

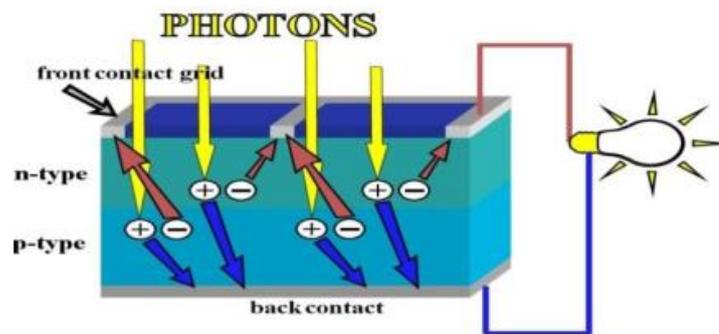
Spesifikasi keseluruhan dari *Solar Cell* yang digunakan adalah:

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

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

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

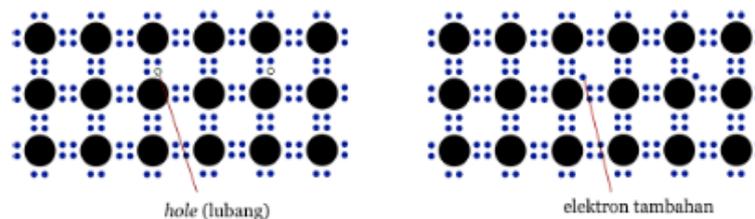
Solar Cell merupakan suatu perangkat semi konduktor yang dapat menghasilkan listrik jika diberikan sejumlah energi cahaya. Proses penghasilan energi listrik terjadi jika pemutusan ikatan elektron pada atom-atom yang tersusun dalam kristal semikonduktor ketika diberikan sejumlah energi. Salah satu bahan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



Gambar 2.4 Prinsip Kerja *Solar Cell*

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

2.2.3.1 Semikonduktor Tipe-P dan Tipe-N



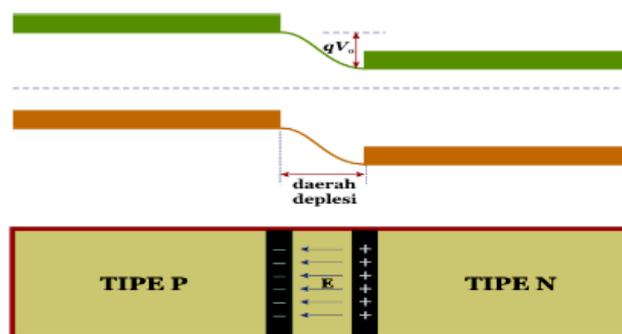
Gambar 2.5 Semikonduktor Tipe-P (Kiri) dan Tipe-N (Kanan)

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

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

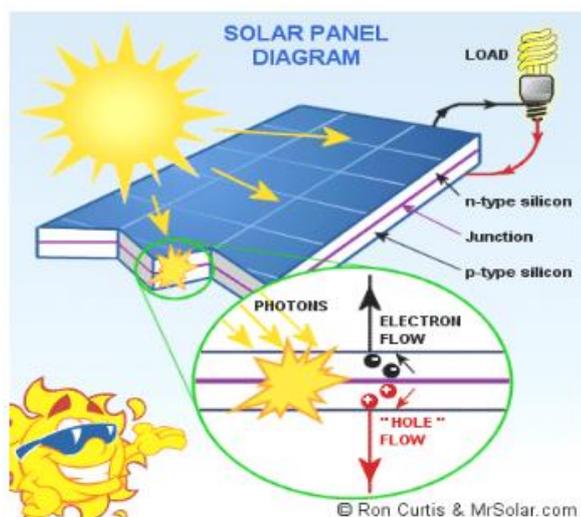
akan lebih banyak menghasilkan pembawa muatan ketika diberikan sejumlah energi tertentu, baik pada semikonduktor tipe-n maupun tipe-p.

2.2.3.2 Sambungan P-N



Gambar 2.6 Diagram Energi Sambungan P-N Munculnya Daerah Deplesi

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



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

(Sumber : http://solarcell.com.jpg/struktur_solar_cell, Diakses: 23-02-2015. Jam: 14:00 WIB)

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

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

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

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

2.2.4 Prinsip Dasar Solar Cell (Photovoltaic) Dari Bahan Tembaga

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

2.2.5 Sistem Instalasi Solar Cell

2.2.5.1 Rangkaian Seri Solar Cell

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



Gambar 2.8 Hubungan Seri

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

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

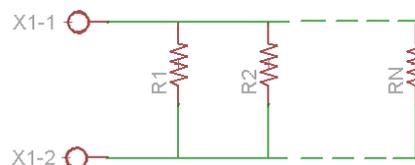
$$U_{\text{total}} = U_1 + U_2 + U_3 + U_n \dots \dots \dots (1)$$

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

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

2.2.5.2 Rangkaian Paralel Solar Cell

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



Gambar 2.9 Hubungan Paralel

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

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

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

Arus yang timbul dari hubungan ini langsung dijumlahkan.

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

2.2.5.3 Solar Charge Controller

Solar Charge Controller adalah komponen di dalam sistem PLTS 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.

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) untuk dapat terisi penuh.

Fungsi dan fitur *Solar Charge Controller* :

- 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.
- Saat tegangan di baterai dalam keadaan hampir kosong, maka *controller* berfungsi menghentikan pengambilan arus listrik dari baterai oleh beban / peralatan listrik. Dalam kondisi tegangan tertentu (umumnya sekitar 10% sisa tegangan 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.

- 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.

Charging Mode Solar Charge Controller

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

- Fase *bulk*: baterai akan di isi 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 *solar cell* pada tahap ini.

2.3 Accu

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

12 Volt, 9 volt dan ada juga yang bertegangan 6 Volt. Selain itu juga dapat ditemukan pula *Accu* yang khusus untuk menyalakan *Tape* atau radio dengan tegangan juga yang dapat diatur dengan rentang 3, 6, 9, dan 12 Volt. Tentu saja *Accu* jenis ini dapat dimuati kembali (*Recharge*) apabila muatannya telah berkurang atau habis. Dikenal dua jenis elemen yang merupakan sumber arus searah (DC) dari proses kimiawi, yaitu elemen *primer* dan elemen sekunder.

Elemen *primer* terdiri dari elemen basah dan elemen kering. Reaksi kimia pada elemen *primer* yang menyebabkan elektron mengalir dari elektroda negatif (*Katoda*) ke elektroda positif (*Anoda*) tidak dapat dibalik arahnya. Maka jika muatannya habis, maka elemen *primer* tidak dapat dimuati kembali dan memerlukan penggantian bahan pereaksinya (elemen kering). Sehingga dilihat dari sisi ekonomis elemen *primer* dapat dikatakan cukup boros. Contoh elemen primer adalah batu baterai (*Dry Cells*).

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

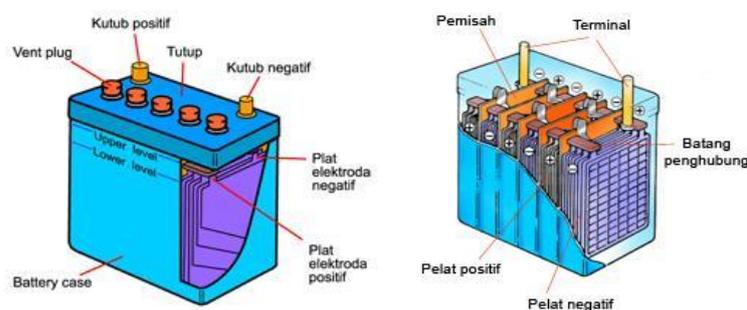
Akan tetapi, tidak seperti elemen *primer*, elemen sekunder dapat dimuati kembali berulang kali. Elemen sekunder ini lebih dikenal dengan *Accu*. Dalam sebuah *Accu* berlangsung proses elektrokimia yang *reversible* (bolak-balik) dengan efisiensi yang tinggi. Proses elektrokimia *reversible* yaitu di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

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

2.3.1 Macam dan Cara Kerja Accu

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

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



Gambar 2.10 Sel Accu

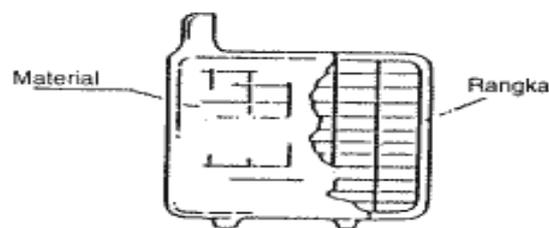
(Sumber: id.m.wikipedia.org/akumulator, diakses terakhir tanggal 16 Juni 2016)

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.

2.3.2 Konstruksi *Accu*

1. Plat positif dan negatif

Plat positif dan plat negatif merupakan komponen utama suatu *Accu*. Kualitas plat sangat menentukan kualitas suatu *Accu*, plat-plat tersebut terdiri dari rangka yang terbuat dari paduan timbal antimon yang di isi dengan suatu bahan aktif. Bahan aktif pada plat positif adalah timbal peroksida yang berwarna coklat, sedang pada plat negatif adalah spons - timbal yang berwarna abu abu (gambar 2.11).

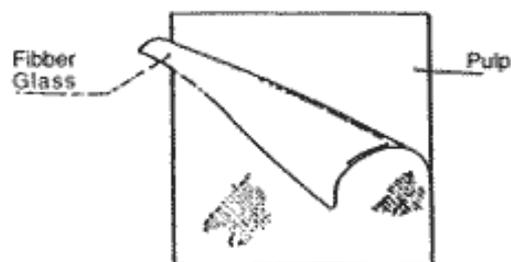


Gambar 2.11 Plat Sel *Accu*

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

2. Separator dan lapisan serat gelas

Antara plat positif dan plat negatif disisipkan lembaran separator yang terbuat dari serat *Cellulosa* yang diperkuat dengan resin. Lembaran lapisan serat gelas dipakai untuk melindungi bahan aktif dari plat positif, karena timbal peroksida mempunyai daya kohesi yang lebih rendah dan mudah rontok jika dibandingkan dengan bahan aktif dari plat negatif. Jadi fungsi lapisan serat gelas disini adalah untuk memperpanjang umur plat positif agar dapat mengimbangi plat negatif, selain itu lapisan serat gelas juga berfungsi melindungi separator (gambar 2.12).



Gambar 2.12 Lapisan Serat Gelas

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

3. Elektrolit

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

4. Penghubung antara sel dan terminal

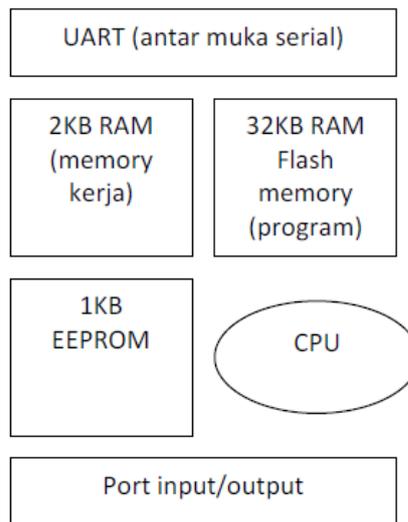
Accu 12 volt mempunyai 6 sel, sedang *Accu* 6 volt mempunyai 3 sel. Sel merupakan unit dasar suatu *Accu* dengan tegangan sebesar 2 volt. Penghubung sel (*Connector*) menghubungkan sel sel secara seri. Penghubung sel ini terbuat dari paduan timbal antimon. Ada dua cara penghubung sel - sel tersebut. Yang pertama melalui atas dinding penyekat dan yang kedua melalui (menembus) dinding penyekat. Terminal terdapat pada kedua sel ujung (pinggir), satu bertanda positif (+) dan yang lain negatif (-). Melalui kedua terminal ini listrik dialirkan penghubung antara sel dan terminal.

5. Sumbat

Sumbat dipasang pada lubang untuk mengisi elektrolit pada tutup *Accu*, biasanya terbuat dari plastik. Sumbat pada *Accu* motor tidak mempunyai lubang udara. Gas yang terbentuk dalam *Accu* disalurkan melalui slang plastik/karet. Uap asam akan tertahan pada ruang kecil pada tutup *Accu*, kemudian asamnya dikembalikan kedalam sel.

6. Perekat bak dan tutup

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



Gambar 2.14 Diagram Sederhana Mikrokontroler Atmega 328

(Sumber : <http://library.binus.ac.id/eColls/eThesiscoll/Bab2/2012-2-00944-SK%20Bab2001.pdf>, diakses tanggal 19 Juli 2016)

Blok-blok di atas dijelaskan sebagai berikut:

- *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART)* adalah antar muka yang digunakan untuk komunikasi serial seperti pada RS-232, RS-422 dan RS-485.
- 2KB RAM pada memory kerja bersifat *volatile* (hilang saat daya dimatikan), digunakan oleh variable-variabel di dalam program.
- 32KB RAM *flash memory* bersifat *non-volatile*, digunakan untuk menyimpan program yang dimuat dari komputer. Selain program, *flash memory* juga menyimpan *bootloader*. **Bootloader** adalah program inisiasi yang ukurannya kecil, dijalankan oleh CPU saat daya dihidupkan. Setelah *bootloader* selesai dijalankan, berikutnya program di dalam RAM akan dieksekusi.
- 1KB EEPROM bersifat *non-volatile*, digunakan untuk menyimpan data yang tidak boleh hilang saat daya dimatikan. Tidak digunakan pada papan *Arduino*.

- *Central Processing Unit (CPU)*, bagian dari mikrokontroler untuk menjalankan setiap instruksi dari program.
- *Port input/output*, pin-pin untuk menerima data (*input*) digital atau analog, dan mengeluarkan data (*output*) digital atau analog.

Pemrograman (proses *upload* kode program dari komputer ke IC) dapat dilakukan dengan mudah menggunakan *programmer* serial, contohnya adalah USBASP atau dengan *parallel programming mode* melalui *port parallel (LPT port)* komputer. Kode dapat ditulis dalam bahasa C/C++ ataupun assembler. *C compiler* (avr-gcc, bagian dari *Atmel AVR Toolchain*) tersedia untuk diunduh secara gratis dari website resmi untuk versi windows atau versi linux.

Alternatif lainnya untuk pengguna Windows dapat menggunakan *WinAVR* (*open source*). Selain itu, untuk pemula dapat juga menggunakan *Arduino IDE* (bahasa C dengan *library* lengkap terintegrasi yang sangat mudah digunakan).

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

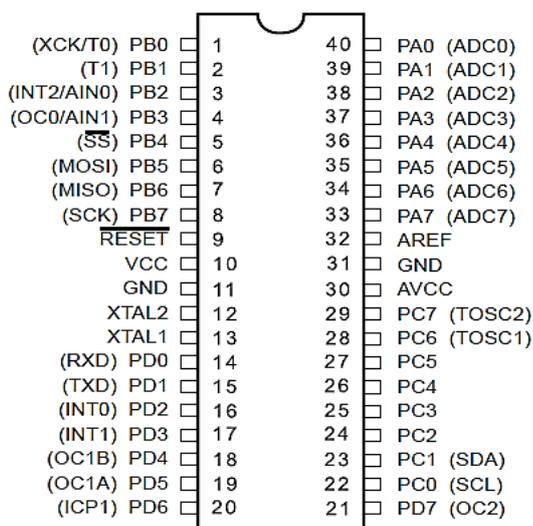
Beberapa fasilitas yang dimiliki oleh Mikrokontroler ATmega32 adalah sebagai berikut: (*hal 9, Jurnal Tutorial Mikrokontroler ATmega 32*)

- Sebuah *Central Processing Unit* 8 bit.
- *Oscillator: 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 di *reset* 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.

Port 1 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

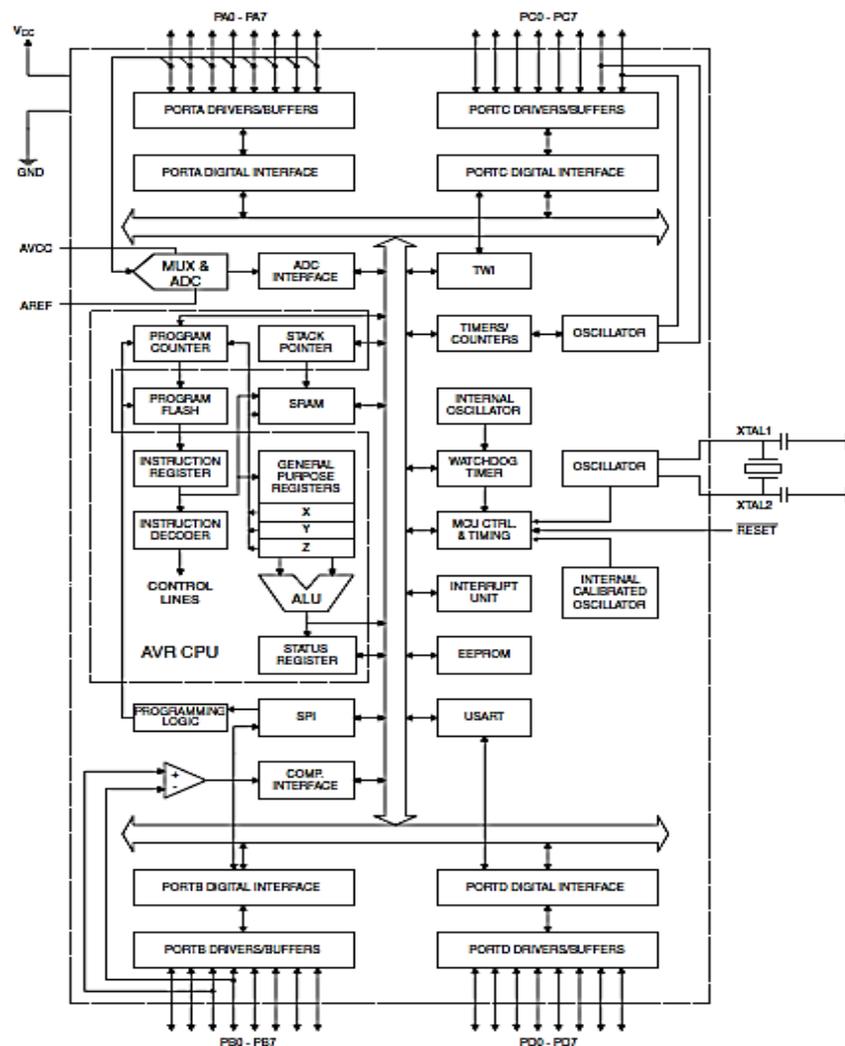
(Sumber: Nugraha, Dhani dkk. *Jurnal Tutorial Mikrokontroler ATMega 32*, 2011)

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 analog untuk ADC.*



Gambar 2.16 Blok Diagram IC ATmega32

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

a. *Port A (PA0-PA7)*

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

b. *Port B (PB0-PB7)*

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

c. *Port C (PC0-PC7)*

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

d. *Port D (PD0-PD7)*

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

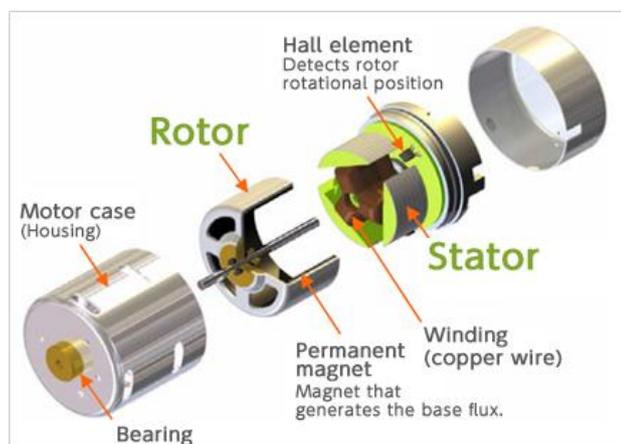
2.6 Motor Listrik BLDC

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

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



Gambar 2.17 Konstruksi Motor BLDC

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

2.6.2 Konstruksi BLDC Motor

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

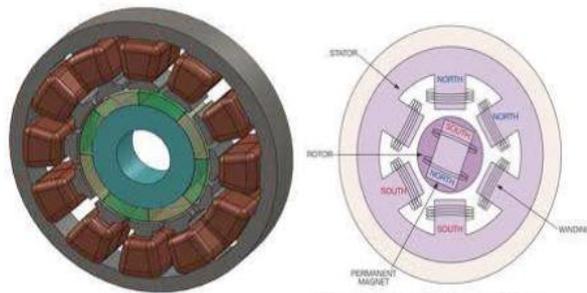
1. Rotor

Rotor adalah bagian pada motor yang berputar karena adanya gaya elektromagnetik dari stator, dimana pada motor DC *Brushless* bagian rotornya berbeda dengan rotor pada motor DC konvensional yang hanya tersusun dari satu buah elektromagnet yang berada diantara *Brushes* (sikat) yang terhubung pada dua buah motor hingga delapan pasang kutub magnet permanen berbentuk persegi panjang yang saling direkatkan menggunakan semacam "*Epoxy*" dan tidak ada *Brushes*-nya.

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

2. Stator

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



Gambar 2.18 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:

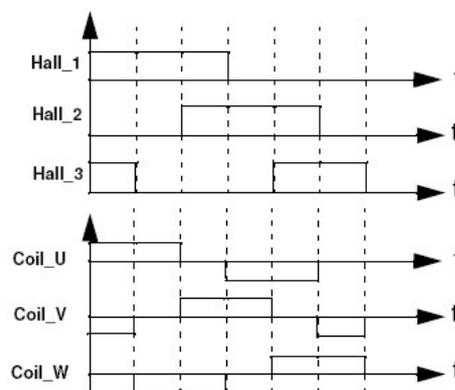
Ketika motor BLDC sudah dibuat, jumlah lilitan pada stator dan besarnya medan magnet yang dihasilkan nilainya sudah dibuat konstan sehingga yang mempengaruhi besarnya EMF balik adalah besarnya kecepatan sudut yang dihasilkan motor, semakin besar kecepatan sudut yang dihasilkan. Perubahan besarnya EMF 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.

2.7 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.



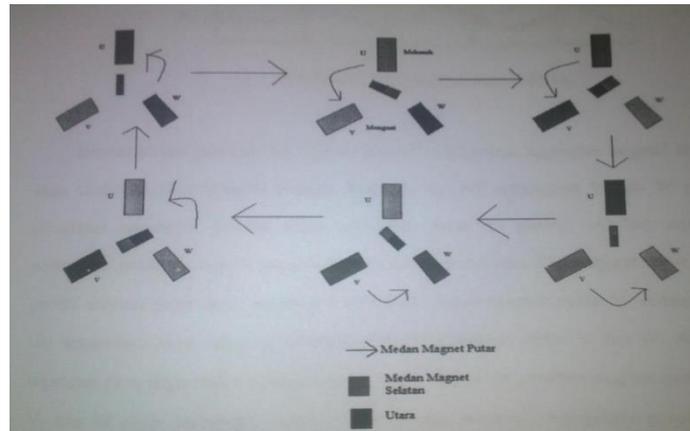
Gambar 2.19 Sensor *Hall* Sinyal Untuk Rotasi Kanan

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

2.7.1 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.

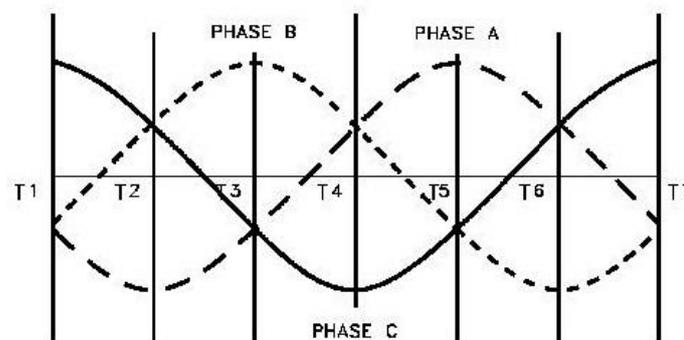
Karena arus yang diberikan berupa arus AC 3 fasa sinusoidal, nilai medan magnet dan polarisasi setiap kumparan akan berubah-ubah setiap saat. Akibat yang ditimbulkan dari adanya perubahan polarisasi dan besar medan magnet tiap kumparan adalah terciptanya medan putar magnet dengan kecepatan :



Gambar 2.20 Medan Magnet Putar Stator dan Perputaran Rotor

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

Berdasarkan gambar 2.18, 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 2.21 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 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.

2.7.2 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.

2.8 Sensor *Optocoupler*

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

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

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

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

LED infra merah ini merupakan komponen elektronika yang memancarkan cahaya inframerah dengan konsumsi daya sangat kecil. Jika diberi bias maju, LED

inframerah yang terdapat pada optocoupler akan mengeluarkan panjang gelombang sekitar 0,9 mikrometer.

Proses terjadinya pancaran cahaya pada LED infra merah dalam *optocoupler* adalah sebagai berikut. Saat dioda menghantarkan arus, elektron lepas dari ikatannya karena memerlukan tenaga dari catu daya listrik. Setelah elektron lepas, banyak elektron yang bergabung dengan lubang yang ada di sekitarnya (memasuki lubang lain yang kosong). Pada saat masuk lubang yang lain, elektron melepaskan tenaga yang akan diradiasikan dalam bentuk cahaya, sehingga dioda akan menyala atau memancarkan cahaya pada saat dilewati arus. Cahaya inframerah yang terdapat pada *optocoupler* tidak perlu lensa untuk memfokuskan cahaya karena dalam satu *chip* mempunyai jarak yang dekat dengan penerimanya. Pada *optocoupler* yang bertugas sebagai penerima cahaya inframerah adalah fototransistor. Fototransistor merupakan komponen elektronika yang berfungsi sebagai detektor cahaya inframerah. Detektor cahaya ini mengubah efek cahaya menjadi sinyal listrik, oleh sebab itu fototransistor termasuk dalam golongan detektor optik.

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

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

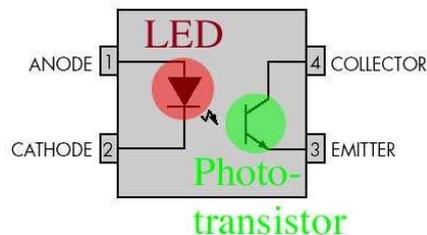
Ditinjau dari penggunaannya, fisik *optocoupler* dapat berbentuk bermacam-macam. Bila hanya digunakan untuk mengisolasi level tegangan atau data pada sisi *Transmitter* dan sisi *Receiver*, maka *optocoupler* ini biasanya dibuat dalam bentuk solid (tidak ada ruang antara LED dan *Photodiode*). Sehingga sinyal listrik

yang ada pada input dan output akan terisolasi. Dengan kata lain optocoupler ini digunakan sebagai optoisolator jenis IC.

Prinsip kerja dari *optocoupler* adalah :

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

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



Gambar 2.22 *Optocoupler*

(Sumber : <http://en.wikipedia.org/wiki/Optocoupler> di akses Juni 2106)

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

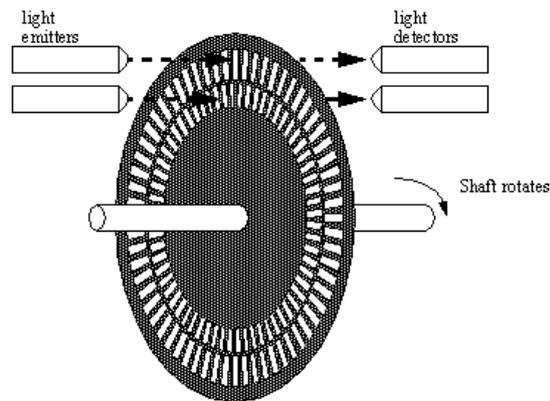
disket pada disk drive computer. Tapi pada alat yang penulis buat *optocoupler* untuk mendeteksi putaran.

Penggunaan dari *optocoupler* tergantung dari kebutuhannya. Ada berbagai macam bentuk, jenis, dan type. Seperti MOC 3040 atau 3020, 4N25 atau 4N33 dan sebagainya. Pada umumnya semua jenis *optocoupler* pada lembar datanya mampu dibebani tegangan sampai 7500 Volt tanpa terjadi kerusakan atau kebocoran. Biasanya dipasaran *optocoupler* tersedianya dengan type 4NXX atau MOC XXXX dengan X adalah angka part valuenya. Untuk type 4N25 ini mempunyai tegangan isolasi sebesar 2500 Volt dengan kemampuan maksimal led dialiri arus *forward* sebesar 80 mA. Namun besarnya arus led yang digunakan berkisar antara 15mA - 30 mA dan untuk menghubungkannya dengan tegangan +5 Volt diperlukan tahanan sekitar 1K ohm.

2.9 Rotary Encoder

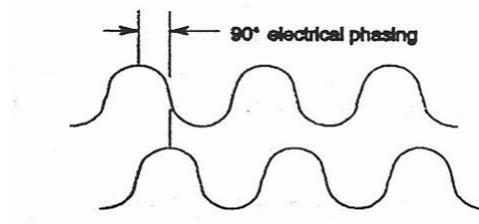
Rotary encoder atau *Shaft Encoder* adalah suatu perangkat elektromekanik yang digunakan untuk mengkonversi perpindahan angular dari suatu poros menjadi kode-kode analog ataupun digital. Terdapat dua jenis utama dari *Rotary Encoder*, yaitu tipe absolut dan tipe *incremental*. *Absolute Rotary Encoder* 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 2.23.



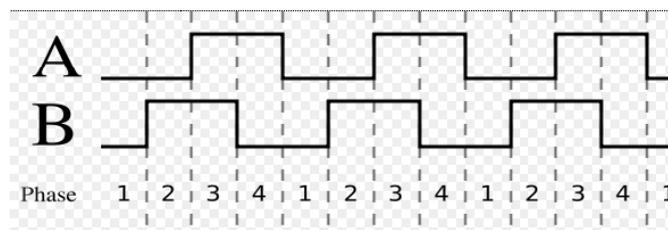
Gambar 2.23 Contoh skema konstruksi bagian dalam *Incremental Rotary Encoder*
 (Sumber : http://hades.mech.northwestern.edu/index.php/Rotary_Encoder di akses Juni 2016)

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 2.24 Output sinusoidal dari dua buah photosensor
 (Sumber : http://hades.mech.northwestern.edu/index.php/Rotary_Encoder, di akses juni 2016)

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



Gambar 2.25 Quadrature outputs

(Sumber : http://hades.mech.northwestern.edu/index.php/Rotary_Encoder, di akses juni 2016).

2.10 EEPROM

EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*, ditulis pula dengan E2PROM) adalah sejenis chip memori tidak terhapus yang digunakan dalam komputer dan peralatan elektronik lain untuk menyimpan sejumlah konfigurasi data pada alat elektronik tersebut yang tetap harus terjaga meskipun sumber daya diputuskan, seperti tabel kalibrasi atau konfigurasi perangkat.

Pengembangan EEPROM lebih lanjut menghasilkan bentuk yang lebih spesifik, seperti *Flash Memory*. *Flash Memory* lebih ekonomis daripada perangkat EEPROM tradisional, sehingga banyak dipakai dalam perangkat keras yang mampu menyimpan data statik yang lebih banyak (seperti *USB Flashdrive*).

Kelebihan utama dari EEPROM dibandingkan EPROM adalah ia dapat dihapus per blok data tergantung alamat yang diinginkan untuk dihapus secara elektrik. Sementara EPROM tidak bisa dihapus per blok data tetapi keseluruhannya terhapus dan menghapus datanya dengan sinar *ultraviolet*. Jika RAM tidak memiliki batasan dalam hal baca tulis memori, maka EEPROM sebaliknya. Beberapa jenis EEPROM keluaran pertama hanya dapat dihapus dan ditulis ulang (*erase-rewrite*) sebanyak 100 kali sedangkan model terbaru bisa sampai 100.000 kali.

2.11 Arduino Uno

Arduino Uno 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.

2.11.1 Fitur Board *Arduino Uno*

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

- 1,0 pin *out*: 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 beroperasi dengan 3.3V. Yang kedua adalah pin tidak terhubung, yang disediakan untuk tujuan pengembangannya.



Gambar 2.26 Board *Arduino Uno*

2.11.2 Deskripsi *Arduio UNO*

Tabel 2.1 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 (<i>limits</i>)
<i>I/O</i>	14 pin (6 pin untuk PWM)
<i>Arus</i>	50 mA
<i>Flash Memory</i>	32KB
<i>Bootloader</i>	SRAM 2 KB
<i>EEPROM</i>	1 KB
<i>Kecepatan</i>	16 Hz

2.11.3 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 2.1 mm 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

2.11.4 Memory

ATmega328 ini memiliki 32 KB dengan 0,5 KB digunakan untuk *loading file*. Ia juga memiliki 2 KB dari SRAM dan 1 KB dari EEPROM.

2.11.5 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 *attach Interrupt ()* 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*.

2.11.6 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*

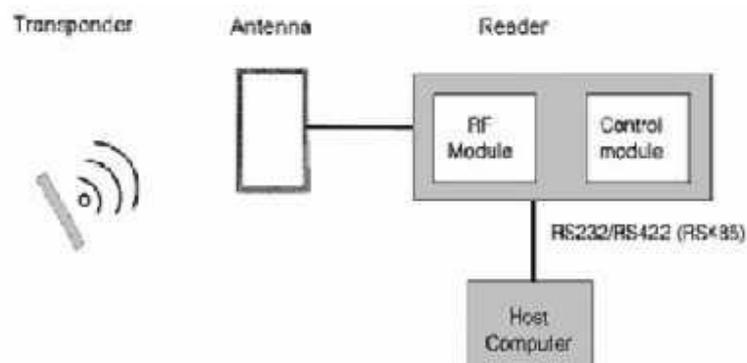
eksternal yang dibutuhkan. Namun, pada *Windows, file. Inf* diperlukan. Perangkat lunak *Arduino* termasuk monitor serial yang memungkinkan data sederhana yang akan dikirim ke *board Arduino*. RX dan TX LED di *board* akan berkedip ketika data sedang dikirim melalui chip *USB-to-serial* dan koneksi USB ke komputer. ATmega328 ini juga mendukung komunikasi I2C (TWI) dan SPI. Fungsi ini digunakan untuk melakukan komunikasi interface pada sistem.

2.12 Sensor Radio Frequency Identification (RFID)

Radio Frequency Identification (RFID) adalah proses identifikasi seseorang atau objek dengan menggunakan frekuensi transmisi radio. *Radio Frequency Identification (RFID)* menggunakan frekuensi radio untuk membaca informasi dari sebuah *device* kecil yang disebut sebagai *Tag* atau *Transponder (Transmitter + Responder)*. *Tag* RFID akan mengenali diri sendiri ketika mendeteksi sinyal dari *device* yang kompatibel, yaitu pembaca RFID (*RFID Reader*), sehingga tidak memerlukan kontak fisik diantara keduanya untuk dapat berhubungan. Tidak diperlukannya kontak fisik inilah yang merupakan keunggulan utama dari RFID.

RFID yang bekerja pada sistem operasi rendah (tidak memerlukan kecepatan baca tinggi) beroperasi pada frekuensi rendah antara 300 Hz sampai 3 KHz. Sedangkan untuk yang bekerja pada sistem operasi tinggi beroperasi pada frekuensi tinggi antara 3 MHz sampai 30 MHz.

Komunikasi antara *TAG* dan *Reader* RFID bisa melalui serial USART, i2c dan SPI. Pada alat ini digunakan serial SPI untuk membaca dan menulis data ke memory *TAG*. Membaca dan menulis dilakukan oleh *Arduino*. *Serial Peripheral Interface (SPI)* merupakan salah satu mode komunikasi *serial synchronous* kecepatan tinggi yang dimiliki oleh ATmega 328. Komunikasi SPI membutuhkan 3 jalur yaitu MOSI, MISO, dan SCK. Sistem RFID dapat dilihat pada Gambar 2.27.



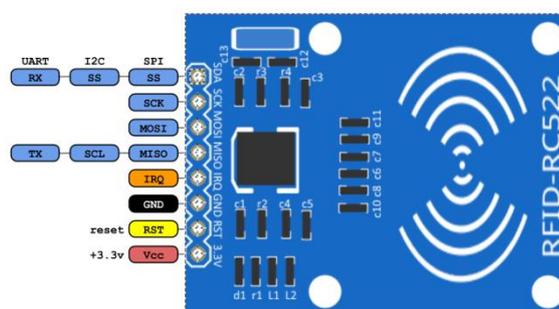
Gambar 2.27 Sistem RFID

(sumber: elektronika-dasar.web.id/wp-content/uploads/2012/08/Sistem-RFID.jpg, diakses tanggal 19 Juli 2016)

2.12.1 RFID Reader

RFID *Reader* adalah merupakan penghubung antara *software* aplikasi dengan antena yang akan meradiasikan gelombang radio ke *tag* RFID. Gelombang radio yang diemisikan oleh antena berpropagasi pada ruangan di sekitarnya. Akibatnya data dapat berpindah secara *wireless* ke *tag* RFID yang berada berdekatan dengan antena.

Reader terdiri atas sebuah mikroprosesor yang berfungsi untuk melakukan *decoding*, menjalankan algoritma serta perhitungan sederhana. Dan meneruskan informasi yang diolahnya tadi ke sebuah komputer lain untuk pencatatan, penyimpanan dan pemrosesan lain yang diperlukan. Untuk mengetahui pin-pin pada RFID *reader*, dapat dilihat pada Gambar 2.28.



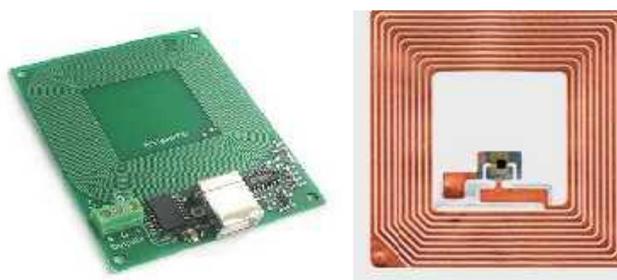
Gambar 2.28 Pin pada RFID Reader

(sumber: Mela, 2009: 5, diakses tanggal 19 Juli 2016)

RFID *Reader* juga berfungsi untuk membaca kode-kode dari *tag* RFID (label) dan membandingkan dengan yang ada di memori *reader*. RFID *reader* terdiri dari sebuah antena dan *transceiver*. Sebuah RFID *Reader* harus menyelesaikan dua buah tugas, yaitu:

- a). Menerima perintah dari *software* aplikasi
- b). Berkomunikasi dengan *tag* RFID

Kerja yang dilakukan oleh RFID *reader* yaitu mengirimkan sinyal kepada *transponder*. Kemudian cara kerjanya sama dengan *scanner barcode* genggam.



Gambar 2.29 RFID Reader

(sumber: http://cnmat.berkeley.edu/sensor_module/phidget_rfid_usb_reader, diakses tanggal 19 Juli 2016)

2.12.2 Tag ID

Tag ID adalah *device* yang dibuat dari rangkaian elektronika dan antena yang terintegrasi di dalam rangkaian tersebut. *Tag* juga biasa dikenal sebagai *transponder*. *Transponder* sendiri berasal dari kata *transmitter* dan *responder*. Suatu RFID *tag* adalah sebuah *device* pembawa data yang terbuat dari silikon *chip* dilengkapi sebuah radio antena kecil. RFID *tag* dapat menyimpan dan mengambil data jarak jauh bila *reader*-nya memancarkan sinyal RF dan direspon oleh *tag*. Kontak antara RFID *tag* dengan *reader* tidak dilakukan secara kontak langsung atau mekanik melainkan dengan pengiriman gelombang elektromagnet.

Rangkaian elektronik dari *tag* RFID umumnya memiliki *memory* sehingga *tag* ini mempunyai kemampuan untuk menyimpan data. *Memory* pada *tag* secara dibagi menjadi sel-sel. Beberapa sel menyimpan data *Read Only*, misalnya *serial number* yang unik yang disimpan pada saat *tag* tersebut diproduksi. Kode-kode RFID *tag* dapat dibaca pada jarak yang cukup jauh. Sel lain pada RFID mungkin

juga dapat ditulis dan dibaca secara berulang. Sebuah *tag* RFID atau *transponder* terdiri atas sebuah mikro (*microchip*) dan sebuah antena. *Chip* mikro itu sendiri dapat berukuran sekecil butiran pasir, seukuran 0.4 mm. *Chip* tersebut menyimpan nomer seri yang unik atau informasi lainnya tergantung kepada tipe memorinya.

Antena yang terpasang pada *chip* mikro mengirimkan informasi dari *chip* ke *reader*. *Tag* tersebut terpasang atau tertanam dalam objek yang akan diidentifikasi. *Tag* dapat di *scan* dengan *reader* bergerak maupun *stationer* menggunakan gelombang radio. RFID *tag standard* mampu menyimpan data tidak lebih dari 128 bit. Sebagian besar memori tersebut dipakai untuk kode produk elektronik yang berisi informasi produsen, jenis produk, dan nomor serial.

Kebutuhan akan *tag* RFID juga akan bertambah di waktu yang akan datang, karena kebutuhan akan proses yang berhubungan dengan identifikasi dan keamanan yang lebih nyaman, efisien, dan hemat waktu. Macam-macam bentuk dari *tag* ID, dapat dilihat pada Gambar 2.30 berikut.



Gambar 2.30 *Tag* ID

(sumber:http://www.diytrade.com/china/pd/10370946/RFID_Key_Tags_ID_Key_cards.html, diakses tanggal 15 Juni 2016)

Menurut klasifikasi *tag*, dibedakan menjadi tiga, yaitu: Aktif, Semi-Pasif dan Pasif.

1. *Tag* aktif mempunyai sumber tenaga seperti baterai dan dapat dilakukan komunikasi untuk dibaca dan ditulis.
2. *Tag* Semi-Pasif mempunyai baterai tetapi hanya dapat merespon transmisi yang datang (*Incoming Transmissions*).

3. *Tag* pasif menerima tenaga dari *reader*, antena yang akan menjadi sumber tenaga dengan memanfaatkan medan magnet yang ditimbulkan dari pembaca (*reader*).

Tabel 2.2 Klasifikasi *Tag* RFID

Jenis <i>Tag</i>	<i>Tag</i> Pasif	<i>Tag</i> Semi-Pasif	<i>Tag</i> Aktif
Sumber Daya	Eksternal	Baterai Internal	Baterai Internal
Tipe Memori	Umumnya <i>Read Only</i>	<i>Read-write</i>	<i>Read-write</i>
Jangkauan Maksimal	10 cm	100 cm	1000 cm
Usia <i>Tag</i>	Sampai 20 Tahun	2-7 Tahun	5-10 Tahun

(sumber: Mela, 2009: 4)

2.12.3 Frekuensi Kerja RFID

Berikut adalah empat frekuensi utama yang digunakan oleh sistem RFID:

1. LF (*Low Frequency*) berkisar dari 125 kilohertz (KHz) hingga 134 KHz. Band ini paling sesuai untuk penggunaan jarak pendek (*short-range*) seperti sistem anti pencurian, identifikasi hewan dan sistem kunci mobil.
2. HF (*High Frequency*) beroperasi pada 13.56 Megahertz (MHz). Frekuensi ini memungkinkan akurasi yang lebih baik dalam jarak tiga kaki dan karena itu dapat mereduksi resiko kesalahan pembacaan *tag*. Sebagai konsekuensinya, HF ini lebih cocok untuk pembacaan pada tingkat item (*item-level reading*). *Tag* pasif dengan frekuensi 13.56 MHz dapat dibaca dengan laju 10 sampai 100 *tag* perdetik pada jarak tiga kaki atau kurang. *Tag* RFID HF digunakan untuk pelacakan barang-barang dipergustakaan, toko buku, kontrol akses gedung, pelacakan bagasi pesawat terbang, pelacakan item pakaian.
3. UHF (*Ultra High Frequency*) beroperasi di sekitar 900 MHz dan dapat dibaca dari jarak yang lebih jauh dari *tag* HF, yaitu berkisar dari 3 hingga 15 kaki. *Tag* ini lebih sensitif terhadap faktor-faktor lingkungan daripada *tag-tag* yang beroperasi pada frekuensi lainnya. UHF 900 MHz muncul sebagai

UHF yang lebih disukai untuk aplikasi rantai *supply* disebabkan laju dan rentang bacanya. *Tag* UHF pasif dapat dibaca dengan laju sekitar 100 hingga 1000 *tag* perdetik. *Tag* ini umumnya digunakan pada pelacakan kontainer, truk, trailer, terminal peti kemas, serta telah diadopsi oleh peritel besar dan Departemen Pertahanan Amerika Serikat. Sebagai tambahan, di Amerika Serikat, band MHz digunakan untuk mengidentifikasi isi kontainer dalam area komersial dan industri untuk meningkatkan ketepatan waktu dan akurasi transmisi data. Menurut FCC, penggunaan semacam itu menguntungkan perusahaan pengapalan komersial dan memberikan manfaat keamanan yang signifikan dengan dimungkinkannya seluruh isi kontainer teridentifikasi dengan mudah dan cepat serta dengan dapat diidentifikasinya merusakkan selama pengapalan.

4. *Tag* yang beroperasi pada frekuensi gelombang mikro, biasanya 2.45 dan 5.8 Gigahertz (GHz) mengalami lebih banyak pantulan gelombang radio dari objek-objek di dekatnya yang dapat mengganggu kemampuan *reader* untuk berkomunikasi dengan *tag*.

2.13 Keypad Matrix 3x4

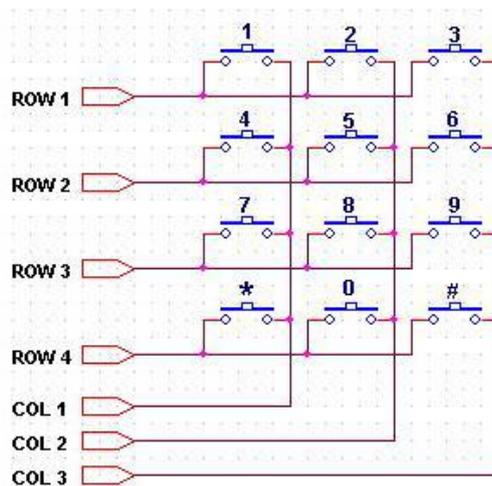
Keypad 3x4 disini adalah sebuah keypad matriks dengan susunan empat baris dan tiga kolom.



Gambar 2.31 Keypad 3x4

(Sumber : <http://www.dx.com/p/3x4-matrix-12-key-membrane-switch-keypad>, diakses tanggal 15 Juni 2016)

Seperti terlihat pada gambar dibawah, apabila saklar 1 ditekan maka baris 1 dan kolom 1 akan terhubung. Apabila saklar 2 ditekan maka baris 1 dan kolom 2 akan terhubung, dan seterusnya. (Iswanto : 2009)



Gambar 2.32 Interface Keypad 3x4

(Sumber : Iswanto : 2009) 15

Tabel 2.3 Keypad 3x4 Kolom

		Kolom		
		C1	C2	C3
Row (baris)	R1	1	2	3
	R2	4	5	6
	R3	7	8	9
	R4	*	0	#

(Sumber:<http://www.dx.com/p/3x4-matrix-12-key-membrane-switch-keypad>)

Penggunaan Keypad dilakukan dengan cara menjadikan tiga buah kolom sebagai output *scanning* dan empat buah baris sebagai input *scanning*.

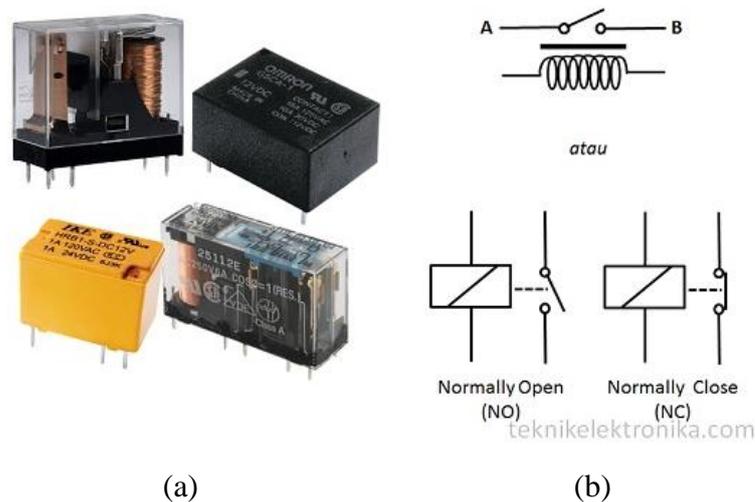
Cara Kerja Rangkaian Keypad 3x4 :

- Apabila Kolom 1 diberi logika '0', kolom kedua dan kolom ketiga diberi logika '1' maka program akan mengecek tombol 1, 4, 7, dan *, sehingga apabila salah satu baris berlogika '0' maka ada tombol yang ditekan.
- Apabila Kolom 2 diberi logika '0', kolom pertama dan kolom ketiga diberi logika '1' maka program akan mengecek tombol 2, 5, 8, dan 0, sehingga apabila salah satu baris berlogika '0' maka ada tombol yang ditekan.

- Apabila Kolom 3 diberi logika '0', kolom pertama dan kolom kedua diberi logika '1' maka program akan mengecek tombol 3, 6, 9, dan #, sehingga apabila salah satu baris berlogika '0' maka ada tombol yang ditekan. Kemudian kembali ke semula, artinya program looping terus mendeteksi data kolom dan data baris, cara ini disebut scanning atau penyapuan keypad untuk mendapatkan saklar mana yang ditekan.

(Sumber : www.dx.com/p/3x4-matrix-12-key-membrane-switch-keypad, diakses tanggal 15 Juni 2016).

2.14 Relay



Gambar 2.33 (a) Bentuk Relay, (b) Simbol Relay

(Sumber : <http://teknikelektronika.com/pengertian-relay-fungsi-relay/>, diakses tanggal 19 Juli 2016, pukul 22.05 WIB)

Relay merupakan komponen elektronika yang dapat mengimplementasikan logika switching. Relay yang digunakan sebelum tahun 70an, merupakan “otak” dari rangkaian pengendali. Setelah tahun 70-an digantikan posisi posisinya oleh PLC. Relay yang paling sederhana ialah relay elektromekanis yang memberikan pergerakan mekanis saat mendapatkan energi listrik. 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.

Jadi dapat disimpulkan bahwa Relay adalah komponen elektronika berupa saklar elektronik yang digerakkan oleh arus listrik. Beberapa fungsi Relay yang telah umum diaplikasikan kedalam peralatan Elektronika diantaranya adalah :

1. Relay digunakan untuk menjalankan Fungsi Logika (*Logic Function*)
2. Relay digunakan untuk memberikan Fungsi penundaan waktu (*Time Delay Function*)
3. Relay digunakan untuk mengendalikan Sirkuit Tegangan tinggi dengan bantuan dari Signal Tegangan rendah.
4. Ada juga Relay yang berfungsi untuk melindungi Motor ataupun komponen lainnya dari kelebihan Tegangan ataupun hubung singkat (Short).
5. Penguatan daya : menguatkan arus atau tegangan. Contoh : *starting relay* pada mesin mobil

Suatu jenis relay yang dapat menangani kekuatan tinggi yang diperlukan untuk secara langsung mengontrol motor listrik atau beban lain disebut kontaktor. relay solid-state mengontrol sirkuit listrik tanpa bagian yang bergerak, bukan menggunakan perangkat semikonduktor untuk melakukan switching. Relay dengan karakteristik operasi dikalibrasi dan kadang-kadang beberapa kumparan operasi yang digunakan untuk melindungi sirkuit listrik dari kelebihan beban atau kesalahan; dalam sistem tenaga listrik modern fungsi-fungsi ini dilakukan oleh instrumen digital masih disebut "relay pelindung".

2.14.1 Jenis dan Fungsi relay



Gambar 2.34 Relay yang banyak di pasaran

Relay merupakan salah satu jenis dari Saklar, maka istilah Pole dan Throw yang dipakai dalam saklar juga berlaku pada relay. Berikut ini adalah penjelasan singkat mengenai istilah Pole and Throw :

- *Pole* : Banyaknya Kontak (*Contact*) yang dimiliki oleh sebuah relay
- *Throw* : Banyaknya kondisi yang dimiliki oleh sebuah Kontak (*Contact*)

Berikut ini merupakan jenis *relay* berdasar jumlah *pole* dan *throw* atau disebut juga sebagai simbol relay :

1. SPST (*Single Pole Single Throw*)

Relay ini memiliki empat terminal yaitu, dua terminal kumparan atau koil dan dua terminal saklar (A dan B) yang dapat terhubung dan terputus.



Gambar 2.35 Tampilan Relay Jenis SPST

(Sumber <https://industri3601.wordpress.com/relay/> diakses pada 19 Juli 2016 pukul 21.46 WIB)

2. SPDT (*Single Pole Double Pole*)

Relay ini memiliki lima terminal, yaitu dua terminal kumparan atau koil dan tiga terminal saklar (A, B, dan C) yang dapat terhubung dan terputus dengan satu terminal pusat. Jika suatu saat terminal (misal A) terputus dengan

terminal pusat (C) maka terminal lain (B) terhubung dengan terminal pusat tersebut (C), demikian juga sebaliknya.

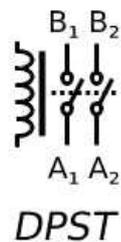


Gambar 2.36 Tampilan Relay Jenis SPDT

(Sumber : <https://industri3601.wordpress.com/relay/> diakses pada 19 Juli 2016 pukul 21.47 WIB)

3. DPST (*Double Pole Single Throw*)

Relay ini mempunyai enam terminal, yaitu dua terminal kumparan atau koil dan empat terminal, merupakan dua pasang saklar yang dapat terhubung dan terputus (A1 dan B1 serta A2 dan B2).

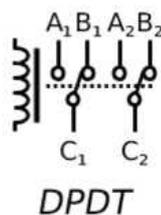


Gambar 2.37 Tampilan Relay Jenis DPST

(Sumber : <https://industri3601.wordpress.com/relay/> diakses pada 19 Juli 2016 pukul 21.48 WIB)

4. DPDT (*Double pole Double Throw*)

Relay ini mempunyai delapan terminal, yaitu dua terminal kumparan atau koil, enam terminal merupakan dua set saklar yang dapat terputus dan terhubung (A1,B1,C1 dan A2, B2, C2).



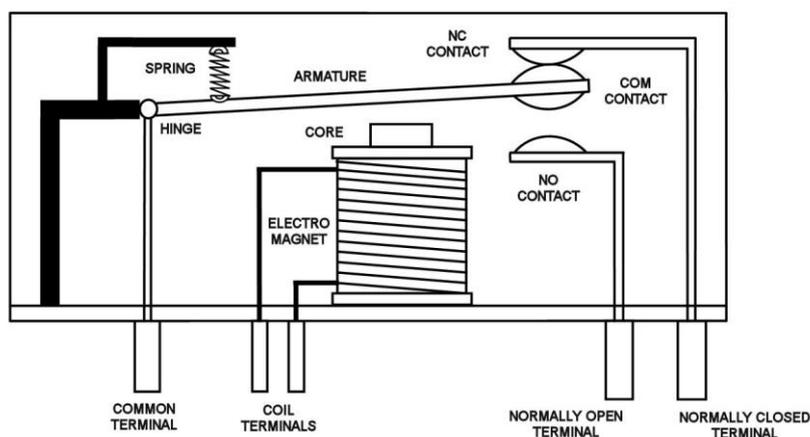
Gambar 2.38 Tampilan Relay Jenis DPDT

(Sumber : <https://industri3601.wordpress.com/relay/> diakses pada 19 Juli 2016 pukul 21.49 WIB)

2.14.2 Prinsip Kerja Relay

Relay dibutuhkan dalam rangkaian elektronika sebagai eksekutor sekaligus interface antara beban dan sistem kendali elektronik yang berbeda sistem power supplynya. Secara fisik antara saklar atau kontaktor dengan elektromagnet relay terpisah sehingga antara beban dan sistem kontrol terpisah. Bagian utama relay elektro mekanik adalah sebagai berikut.

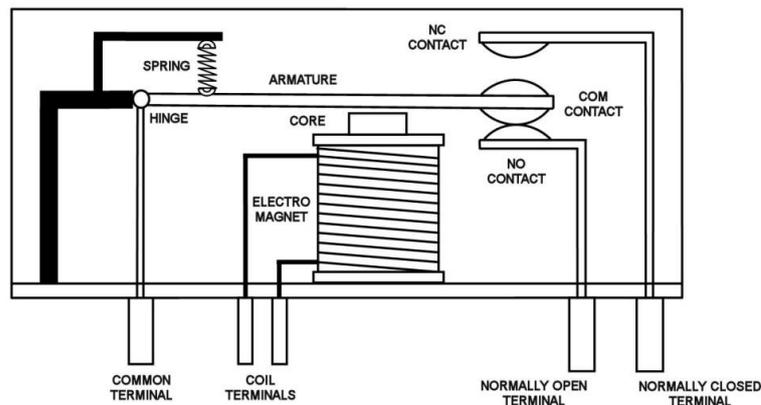
- Kumparan elektromagnet
- Saklar atau kontaktor
- Swing Armatur
- Spring (Pegas)



Gambar 2.39 Konstruksi Relai Elektro Mekanik Posisi NC (*Normally Close*)

(Sumber : <http://elektronika-dasar.web.id/teori-relay-elektro-mekanik/>, diakses tanggal 19 Juli 2016, pukul 21.50 WIB)

Dari konstruksi relai elektro mekanik pada gambar 2.39 dapat diuraikan sistem kerja atau proses relay bekerja. Pada saat elektromagnet tidak diberikan sumber tegangan maka tidak ada medan magnet yang menarik *armature*, sehingga saklar relay tetap terhubung ke terminal NC (*Normally Close*). Kemudian pada saat elektromagnet diberikan sumber tegangan maka terdapat medan magnet yang menarik *armature*, sehingga saklar relay terhubung ke terminal NO (*Normally Open*) seperti terlihat pada gambar 2.40.



Gambar 2.40 Konstruksi Relai Elektro Mekanik Posisi NO (*Normally Open*)

(Sumber : <http://elektronika-dasar.web.id/teori-relay-elektro-mekanik/>, diakses tanggal 19 Juli 2016, pukul 21.55 WIB)

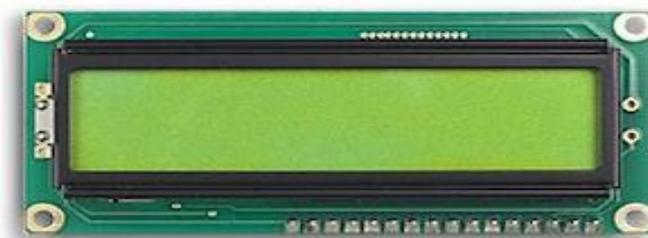
Relay elektro mekanik memiliki kondisi saklar atau kontaktor dalam 3 posisi. Ketiga posisi saklar atau kontaktor relay ini akan berubah pada saat *relay* mendapat tegangan sumber pada elektromagnetnya. Ketiga posisi saklar *relay* tersebut adalah :

- Posisi *Normally Open* (NO), yaitu posisi saklar *relay* yang terhubung ke terminal NO (*Normally Open*). Kondisi ini akan terjadi pada saat *relay* mendapat tegangan sumber pada elektromagnetnya.
- Posisi *Normally Close* (NC), yaitu posisi saklar *relay* yang terhubung ke terminal NC (*Normally Close*). Kondisi ini terjadi pada saat *relay* tidak mendapat tegangan sumber pada elektromagnetnya.
- Posisi *Change Over* (CO), yaitu kondisi perubahan armatur saklar *relay* yang berubah dari posisi NC ke NO atau sebaliknya dari NO ke NC. Kondisi ini terjadi saat sumber tegangan diberikan ke elektromagnet atau saat sumber tegangan diputus dari elektromagnet relay.

Diantara aplikasi relay yang dapat ditemui diantaranya adalah : *Relay* sebagai kontrol *ON/OFF* beban dengan sumber tegang berbeda. *Relay* sebagai selektor atau pemilih hubungan. *Relay* sebagai eksekutor rangkaian *delay* (tunda) *Relay* sebagai protektor atau pemutus arus pada kondisi tertentu.

2.15 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 2.41 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*.

2.15.1 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.

2.15.2 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 mikrokontroler yang berfungsi sebagai pengendali tampilan karakter LCD (*Liquid Cristal Display*). Mikrokontroler 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 ke DDRAM. Penulisan data pada *register* akan menempatkan data tersebut ke DDRAM 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.