

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sejarah Mobil Listrik

Mobil listrik merupakan jenis mobil yang menggunakan listrik sebagai sumber energinya untuk bergerak. Energi disimpan pada baterai atau aki sebagai tempat penyimpanannya. [3]

Mobil modern pertama dibuat oleh Karl Benz pada tahun 1885, namun puluhan tahun sebelumnya konsep mengenai mobil listrik sudah mulai ada. Pada abad ke 18, sudah banyak ilmuwan atau inovator dari Hungaria, Belanda dan Amerika mulai berfokus dengan konsep kendaraan bertenaga baterai dan menciptakan beberapa mobil listrik skala kecil. (Sumber : <https://www.penemu.co/>)

Akhir abad ke 18 di Amerika, mobil listrik buatan William Morrison yang dikenal sebagai ahli kimia sukses memulai debutnya pada tahun 1890. Kendaraan buatannya mampu menampung hingga enam orang penumpang dan melaju dengan kecepatan 22 km/jam.

Meskipun memiliki kecepatan yang rendah, tapi mobil listrik memiliki banyak kelebihan dibandingkan kompetitornya di awal 1900-an. Mobil listrik tidak menimbulkan getaran, mobil listrik juga tidak mengeluarkan gas buang yang berbau, dan tidak berisik bila dibandingkan dengan mobil bensin. Selain itu, mobil listrik tidak memerlukan perpindahan gigi, dimana pada mobil bensin hal inilah yang menjadi penghambat besar dalam mengemudikannya. Mobil listrik pada masa itu juga digunakan oleh orang-orang kaya yang menggunakannya sebagai mobil kota, sehingga keterbatasan jarak bukanlah hambatan besar. Kelebihan lainnya, mobil listrik juga tidak membutuhkan usaha keras untuk menyalakannya, tidak seperti mobil bensin yang membutuhkan tuas tangan untuk menyalakan mobilnya.

Mobil listrik pada masa itu dianggap sebagai mobil yang cocok untuk pengemudi wanita karena kemudahan dalam mengoperasikannya.



Gambar 2.1 Mobil Listrik Pertama Buatan William Morison
(Sumber : <https://www.penemu.co/ini-penemu-mobil-listrik-dan-sejarahny/>)

2.1.1. Karakteristik Mobil Listrik Secara Umum

Umumnya mobil listrik terdiri dari tiga sub-sistem utama :

- Sistem penggerak motor listrik

Berisi tentang pengendali mobil, konverter elektronika daya, motor listrik, dan transmisi

- Sistem baterai

Berisi tentang baterai, sistem manajemen baterai, dan unit pengisian

- Sistem pembantu

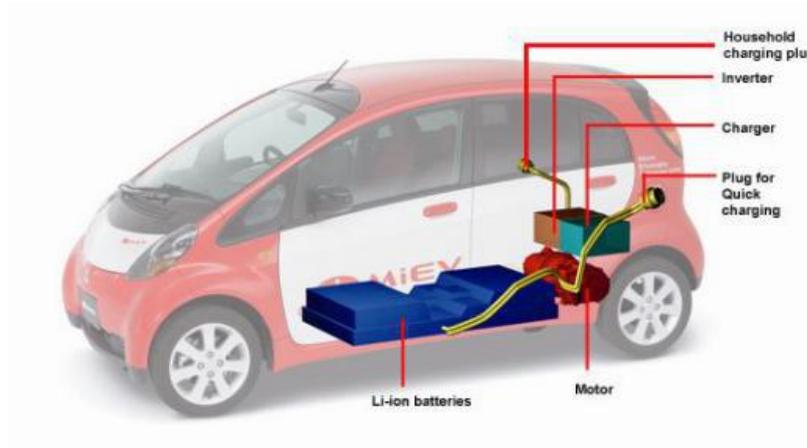
Berisi tentang pemanas/pendingin pompa elektronika, sensor – sensor, dan pembantu elektronika lainnya.

2.1.2. Prinsip Kerja Mobil Listrik

Daya Listrik yang bersumber dari listrik PLN atau Generator lewat alat pengisian (*Charger*) yang berperan untuk merubah arus bolak balik (AC) jadi arus searah (DC) sesuai sama dengan keperluan pengisian dari baterai lewat dua buah kabel yakni positif serta negatif untuk isi baterai. Baterai terbagi dalam 3 unit dan dipasang dengan cara koneksi seri.

Setelah baterai penuh, listrik yang tersimpan pada baterai bisa dipakai untuk memutar motor penggerak lewat solenoid yang mempunyai 2 terminal yang berperan menyambung serta memutus di mana terminal positif pada baterai dipasang pada satu diantara terminal pada solenoide dikaitkan ke kendali kecepatan, di mana solenoide ini dikendalikan oleh dua buah saklar sebagai

pembatas/ yang di gunakan pada system gas serta rem yang cuma bisa berperan sesudah kunci kontak dinyalakan. (Sumber : <https://www.teknovanza.com/2014/02/>).



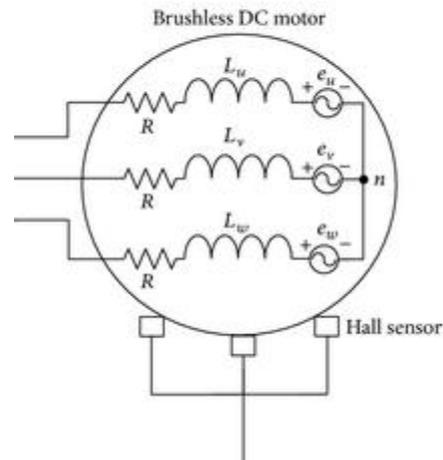
Gambar 2.2 Sistematis Mobil Listrik Baterai
(Sumber : <https://www.teknovanza.com/2014/02/>)

2.2. Motor Brushless DC (Motor BLDC)

Motor DC *Brushless* atau dikenal juga dengan nama *electronically commutated* motor (motor komutasi elektrik) adalah jenis motor sinkron yang disuplai oleh sumber listrik DC untuk mengoperasikan kontrolnya dan memiliki sistem komutasi elektrik (tidak menggunakan sikat/*brush* dan komutator mekanis) yang berbeda dengan komutator dan sikat (*brush*) yang bekerja secara mekanik pada motor DC konvensional.

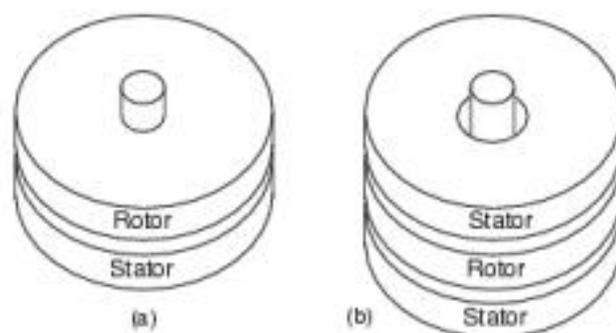


Gambar 2.3 Fisik Motor Brushless DC
(Sumber: Hartono Kasnadi, 2018)

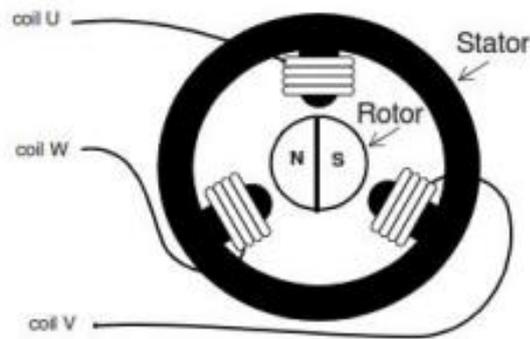


Gambar 2.4 Skema Motor BLDC
(Sumber: <http://18.kerqv.ffbayreuth-ost.de/>)

Motor BLDC terdiri dari 3 jenis motor berdasarkan banyaknya fasa, antara lain motor BLDC 1 fasa, 2 fasa, dan 3 fasa. Mengacu pada jenisnya, stator pada motor BLDC memiliki jumlah yang sama dengan belitannya. Motor BLDC yang sering digunakan adalah motor BLDC 3 fasa. Walaupun sebenarnya motor ini dinamakan motor DC *brushless*, sebenarnya motornya sendiri adalah motor AC sinkron magnet permanen (trapezoidal) 3 fasa yang mana putaran pada rotornya disebabkan oleh medan magnet pada stator yang pada setiap saatnya hanya dua fasa yang ter-*supply* sementara satu fasa lainnya tak tersupply. Fenomena ini mengakibatkan motor ini seperti motor DC, karena arus yang mengalir pada kumparan stator mirip dengan motor DC meskipun motor ini sebenarnya dialiri dengan arus tiga fasa.



Gambar 2.5 Motor BLDC 1 fasa (a), 2 fasa(b)
(Sumber: Hartono Kusnadi, 2018)



Gambar 2.6 Motor BLDC 3 fasa
(Sumber: Hartono Kusnadi, 2018)

2.2.1. Konstruksi

Desain konstruksi BLDC motor sebenarnya hampir sama seperti motor listrik konvensional, yang terdiri dari komponen utama yaitu stator dan rotor.

2.2.1.1. Stator

Stator adalah bagian motor yang diam/statis dimana fungsinya sebagai medan putar motor untuk memberikan gaya elektromagnetik pada rotor sehingga motor dapat berputar. Stator pada BLDC motor hampir sama dengan stator motor listrik konvensional, hanya berbeda pada lilitannya. Stator terbuat dari tumpukan baja yang dilaminasi dan berfungsi sebagai tempat lilitan kawat. Lilitan kawat pada BLDC motor biasanya dihubungkan dengan konfigurasi bintang atau Y.

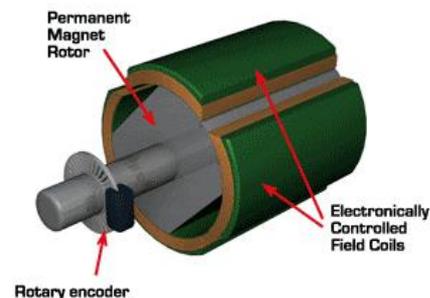


Gambar 2.7 Contoh Fisik Stator
(Sumber : www.mathworks.com)

2.2.1.2. Rotor

Rotor adalah bagian motor yang berputar karena adanya gaya elektromagnetik dari stator. Rotor pada motor BLDC berbeda dengan rotor pada motor DC konvensional yang hanya tersusun dari satu buah elektromagnet yang

berada di antara brushes (sikat). Rotor terdiri dari beberapa magnet permanen yang saling direkatkan dengan epoxy, serta jumlahnya dapat di-variasikan sesuai dengan desain. Jumlah kutub magnet berbanding lurus dengan torsi motor, namun berbanding terbalik dengan RPM. Semakin banyak jumlah kutub magnet pada rotor, semakin tinggi pula torsi yang akan dihasilkan, namun konsekuensinya RPM motor akan turun.



Gambar 2.8 Contoh Desain Rotor BLDC Motor
(Sumber : www.zeva.com.au)

Selain itu, torsi juga dipengaruhi oleh besar kecilnya dari “densitas fluks magnet”. Semakin besar densitas fluks magnet, semakin besar pula torsinya. Oleh karena itu, diperlukan material yang mempunyai sifat magnetis yang bagus untuk membuat magnet permanen dapat menghasilkan fluks magnet dengan kerapatan yang tinggi. Sebelumnya, logam ferrit dipilih karena mempunyai sifat magnetis yang cukup bagus dan juga harganya murah. Namun seiring kemajuan teknologi material, didapatkan material yang memiliki sifat magnetis yang sangat bagus seperti “Neodymium (Nd)”. Logam ferrit mulai ditinggalkan karena mempunyai densitas fluks yang lebih rendah daripada Neodymium, sehingga untuk mendapatkan perbandingan “Size to Weight” yang besar, para engineer motor listrik menggunakan logam seperti Neodymium, sehingga bobot motor dapat berkurang secara drastis.



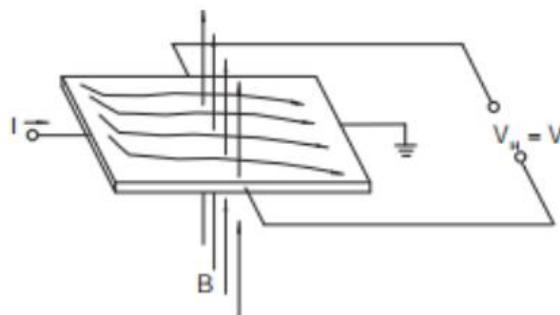
Gambar 2.9 Contoh Magnet Neodymium untuk Rotor
(Sumber : www.magnet-sdm.com)

2.2.1.3. *Hall* Sensor

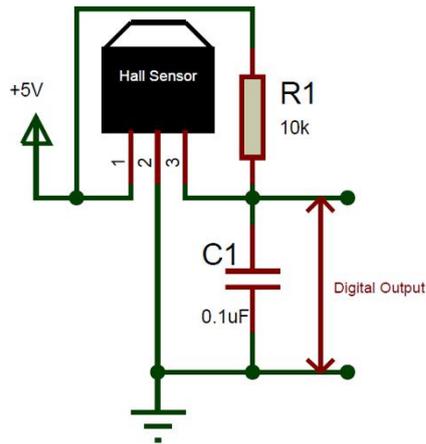
Jika sebuah konduktor berarus diletakkan di dalam medan magnet, akan muncul tegangan yang tegak lurus dengan arus dan medan magnet. Prinsip ini disebut dengan efek *Hall*.

Jika medan magnet tegak lurus dengan arus seperti ditunjukkan pada gambar 2.10, akan muncul gaya Lorentz yang bekerja pada elektron-elektron konduktor. Gaya ini akan mengganggu distribusi arus, menyebabkan perbedaan potensial (tegangan). Tegangan ini adalah tegangan Hall (V_H). Hubungan dari besar tegangan Hall dengan arus dan medan magnet ditunjukkan pada persamaan 2.1

$$V_H \propto I \times B \quad (2.1)$$



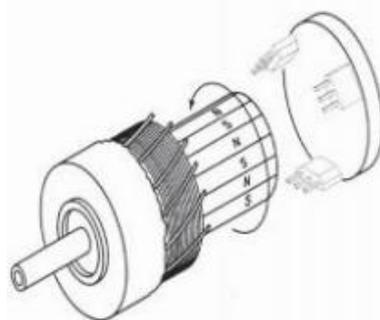
Gambar 2.10 Prinsip Efek *Hall*
(Sumber : Achmad Fachrudin Istananda, 2016)



Gambar 2.11 Skema Hall Sensor

(Sumber: <https://components101.com/a3144-hall-effect-sensor>)

Pada motor BLDC, komutasi dilakukan secara elektrik. Gambar 2.12 menggambarkan bagaimana komutasi dapat dilakukan menggunakan 3 buah sensor. Sensor mendeteksi posisi angular poros dan menyampaikan informasi tersebut ke sebuah rangkaian logika. Rangkaian logika tersebut kemudian mengolah informasi posisi rotor untuk mengatur switch dari rangkaian driver motor.



Gambar 2.12 Peletakan Sensor Posisi Motor BLDC

(Sumber : Achmad Fachrudin Istiananda, 2016)

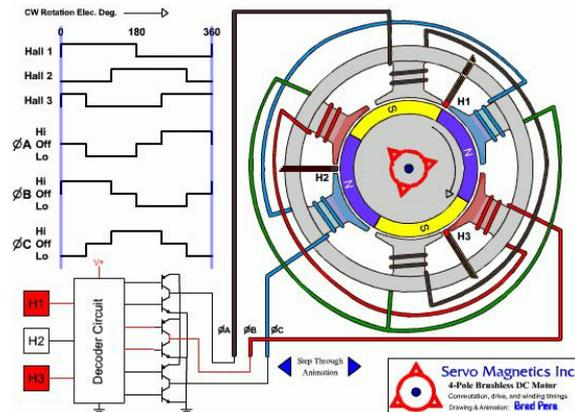


Gambar 2.13 Posisi Hall Sensor Pada Motor BLDC

(Sumber : Fajar Kurniawan, 2017)

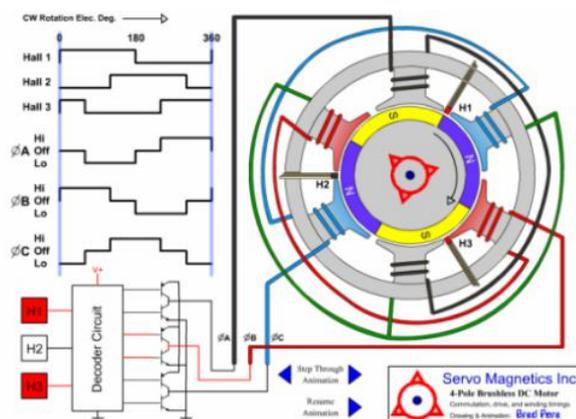
2.2.2. Prinsip Kerja Motor BLDC

Prinsip kerja Motor BLDC sebenarnya sama dengan motor listrik DC konvensional. Perbedaan hanya terletak pada penggunaan *brush* (sikat). Pada motor DC konvensional, sikat dan komutator mekanik digunakan dalam proses komutasi. Sedangkan motor BLDC sudah menggunakan teknologi elektronik dalam proses komutasinya, yaitu sensor Hall dan kontroler.



Gambar 2.14 Skema Kerja Motor BLDC
(sumber : Achmad Nur Husaini, 2015)

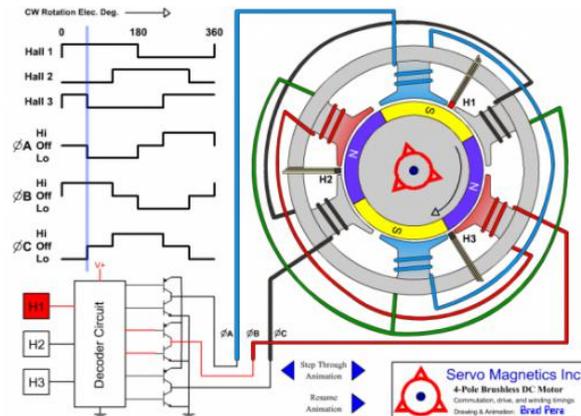
Secara garis besar, proses kerja dari motor BLDC dapat dijelaskan dalam gambar berikut. Motor yang dipakai adalah motor BLDC 3 fasa, berputar searah jarum jam dan sensor Hall menggunakan default kutub utara.



Gambar 2.15 Langkah Kerja Pertama Motor BLDC
(sumber : Achmad Nur Husaini, 2015)

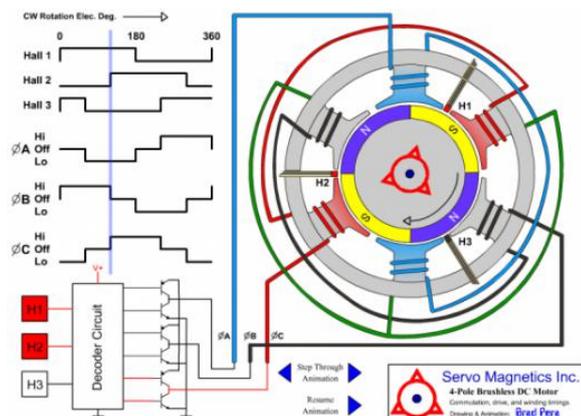
Pertama, *hall sensor* H1 dan H3 bernilai 1 karena mengalami perubahan medan magnet. Sehingga kontroler akan mengalirkan arus pada lilitan B dan C. Lilitan B menjadi kutub utara dan lilitan C menjadi kutub selatan. Kutub utara

oleh lilitan B akan memberikan tolakan pada kutub utara magnet rotor, sedangkan kutub selatan lilitan C akan menarik kutub utara magnet rotor.



Gambar 2.16 Langkah Kerja Kedua Motor BLDC
(sumber : Achmad Nur Husaini, 2015)

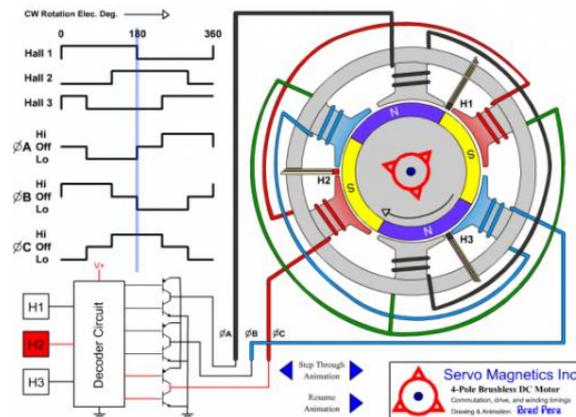
Langkah kedua, hanya sensor H1 yang bernilai “high”, sehingga kontroler akan menginstruksikan agar lilitan A dan B harus dialiri arus. Lilitan A menghasilkan kutub selatan dan lilitan B tetap menghasilkan kutub utara. Kutub selatan lilitan A akan menolak kutub selatan pada magnet rotor. Sedangkan kutub utara lilitan B menolak kutub utara dari magnet rotor.



Gambar 2.17 Langkah Kerja Ketiga Motor BLDC
(sumber : Achmad Nur Husaini, 2015)

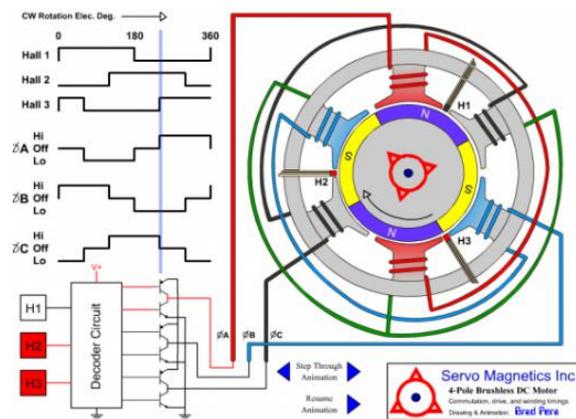
Langkah ketiga, sensor H1 dan H2 akan bernilai 1. Sehingga kontroler akan menginstruksikan agar lilitan A dan C dialiri arus. Lilitan A tetap menghasilkan kutub selatan dan lilitan C menghasilkan kutub utara. Kutub selatan lilitan A

akan menolak kutub selatan dan menarik kutub utara pada magnet rotor. Sedangkan kutub utara lilitan C menarik kutub selatan dari magnet rotor.



Gambar 2.18 Langkah Kerja Keempat Motor BLDC
(sumber : Achmad Nur Husaini, 2015)

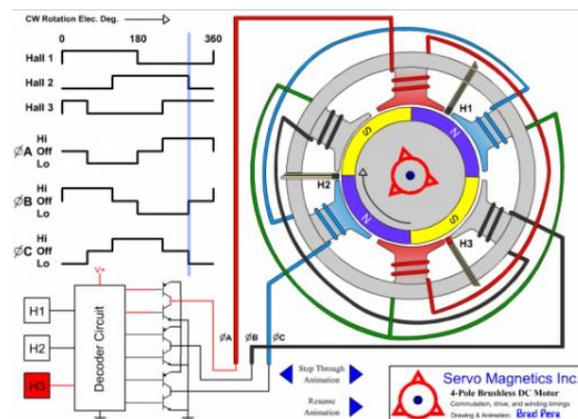
Langkah keempat, hanya sensor H2 yang bernilai 1. Sehingga kontroler akan menginstruksikan agar lilitan B dan C dialiri arus. Lilitan B menghasilkan kutub selatan dan lilitan C tetap menghasilkan kutub utara. Kutub selatan lilitan B akan menolak kutub selatan pada magnet rotor. Sedangkan kutub utara lilitan C menarik kutub selatan dari magnet rotor.



Gambar 2.19 Langkah Kerja Kelima Motor BLDC
(sumber : Achmad Nur Husaini, 2015)

Langkah kelima, sensor H2 dan H3 bernilai 1. Sehingga kontroler akan menginstruksikan agar lilitan A dan B dialiri arus. Lilitan A menghasilkan kutub utara dan lilitan B tetap menghasilkan kutub selatan. Kutub utara lilitan A akan menolak kutub utara dan menarik kutub selatan pada magnet rotor. Sedangkan kutub selatan lilitan B menolak kutub selatan dari magnet rotor.

Langkah keenam atau terakhir pada siklus komutasi, hanya sensor H3 yang bernilai 1. Sehingga kontroler akan menginstruksikan agar lilitan A dan C dialiri arus. Lilitan A tetap menghasilkan kutub utara dan lilitan C menghasilkan kutub selatan. Kutub utara lilitan A akan menarik kutub selatan dan menolak kutub utara pada magnet rotor. Sedangkan kutub selatan lilitan C menarik kutub utara dari magnet rotor.



Gambar 2.20 Langkah Kerja Keenam Motor BLDC
(sumber : Achmad Nur Husaini, 2015)

Keenam proses tersebut akan mengalami pengulangan hingga membentuk suatu siklus. Hal inilah yang menyebabkan motor terus berputar secara kontinyu selama sumber arus DC masih ada.

2.2.3. Kelebihan Dan Kekurangan Motor BLDC

Sama seperti motor listrik pada umumnya, motor BLDC juga memiliki kelebihan dan kekurangan yang dijabarkan sebagai berikut:

2.2.3.1. Kelebihan Motor BLDC

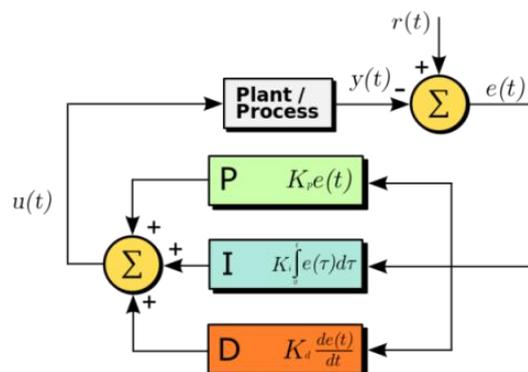
1. Efisiensi Tinggi. Tidak ada kehilangan tegangan oleh cincin komutator dan brushes.
2. Hemat Biaya Perawatan. Hal ini dikarenakan brushes seperti pada motor konvensional tidak digunakan lagi.
3. Perbandingan Torsi-Ukuran Lebih Besar. Hal ini disebabkan medan tarik yang dihasilkan oleh stator sepenuhnya diterima oleh rotor karena rotor terbuat dari medan magnet permanen.

4. Polusi Suara yang Lebih Rendah. Hal ini dikarenakan gesekan yang dihasilkan brushes pada motor konvensional dapat dieliminasi.
5. Pendinginan yang Lebih Mudah. Kabel pada motor BLDC menempel pada casing. Sehingga memudahkan sistem pendinginan. Hal ini merupakan salah satu alasan pemilihan motor BLDC untuk masa operasi yang panjang seperti pada mobil listrik.
6. Tidak Terjadi Bunga Api. Hubungan antara brush dan komutator yang longgar menyebabkan terjadinya percikan api, hal ini berbahaya jika motor digunakan pada industri yang sensitif terhadap percikan api, tetapi dengan menggunakan BLDC motor, dengan tidak adanya komutator dan brush menyebabkan tidak adanya percikan api yang dirimbulkan oleh motor.

2.2.3.2. Kekurangan Motor BLDC

1. Biaya Pembuatan Mahal. Motor BLDC mempunyai banyak komponen mahal.
2. Sistem Pengendalian yang Rumit dan Mahal. Hal ini dikarenakan penggunaan komutator elektronik yang menggantikan komutator mekanik. Selain itu, pengontrol kecepatan motor BLDC juga lebih rumit daripada motor DC konvensional, sehingga juga ikut menaikkan harga.
3. Kontroler Mahal. Seringkali, kontroler motor BLDC justru lebih mahal daripada motor itu sendiri.

2.3. Kontrol Proposional Integral Derivatif (PID)



Gambar 2.21 Blok Diagram Kontrol PID

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

PID digital merupakan proses dari suatu program yang dijalankan dengan menggunakan komputer, dimana kita memasukkan suatu nilai Setting Point (SP) dan Preset Value (PV) yang kemudian data tersebut diproses sehingga error yang didapatkan sama dengan 0, atau nilai Setting Point = Preset Value. [7]

Skema kontrol PID dinamai dari ketiga kontrol pengendalinya, yang kemudian dijumlahkan menjadi variabel manipulasi. Kontrol proporsional, integral, dan derivatif dijumlahkan untuk menghitung keluaran kontroler PID. Dengan mendefinisikan $u(t)$ sebagai keluaran kontroler, bentuk akhir dari algoritme PID adalah:

$$u(t) = P(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.2)$$

Di mana:

K_p : Gain proporsional

K_i : Gain integral

K_d : Gain derivatif

e : Error = $Y_{sp} - Y_m$

Y_{sp} : Setpoint

Y_m : Variabel proses

t : Waktu

τ : Variabel integrasi; nilainya diambil dari waktu nol sampai t .

Transfer Fungsi dalam bentuk Domain Laplace kontroler PID adalah

$$L(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (2.3)$$

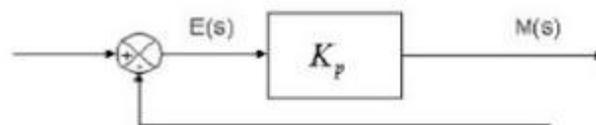
Dengan

s : frekuensi bilangan kompleks

2.3.1. Kontrol Proporsional (P)

Pengontrol proporsional memiliki keluaran yang sebanding (proporsional) dengan besarnya sinyal *error*. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa keluaran pengontrol P merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan masukannya. Perubahan pada sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengeluarkan output sinyal sebesar konstanta pengalinya.

Gambar 2.22 menunjukkan blok diagram yang menggambarkan hubungan antara besaran seting, besaran aktual dengan besaran keluaran pengontrol P. Sinyal kesalahan merupakan selisih antara besaran seting dengan besaran aktualnya. Selisih ini akan mempengaruhi pengontrol, untuk mengeluarkan sinyal positif (mempercepat pencapaian nilai setting) atau negatif(memperlambat).



Gambar 2.22 Blok Diagram Kontrol P

(Sumber : <http://www.info-elektro.com/2015/07/dasar-teori-pid-proportional-integral.html>)

Pengontrol P mempunyai 2 parameter, pita proporsional dan konstanta proporsional. Daerah kerja kontroler efektif dicerminkan oleh pita proporsional sedngkan konstanta proporsional menunjukan nilai faktor penguatan sinyal terhadap sinyal kesalahan K_p . Hubungan antara pita proporsional (PB) dan konstalnta proporsional (K_p) adalah :

$$PB = \frac{1}{K_p} \times 100\% \quad (2.4)$$

2.3.1.1. Karakteristik Kontrol Proporsional

Karakteristik kontrol proporsional harus diperhatikan ketika pengontrol tersebut diterapkan pada suatu sistem. Secara eksperimen, pengguna kontrol proporsional harus memperhatikan ketentuan berikut :

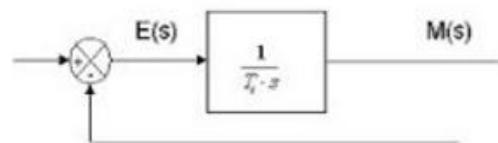
1. Apabila nilai K_p kecil, pengontrol proporsional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan repon sistem yang lambat.
2. Apabila nilai K_p dinaikan, respon sistem menunjukan semakin cepat mencapai set point dan keadaan stabil.
3. Namun jika nilai K_p diperbesar sehingga mencapai harga yang berlebihan, akan menyebabkan sistem bekerja tidak stabil.

2.3.2. Kontrol Integral (I)

Kontrol ini berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki *error* keadaan stabil nol. Jika suatu plant tidak memiliki unsur integrator, kontrol proporsional tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan stabilnya nol. Dengan kontrol integral, respon sistem dapat diperbaiki yaitu mempunyai kesalahan keadaan stabilnya nol.

Kontrol integral mempunyai karakteristik seperti halnya sebuah integral. Keluaran sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Keluaran kontrol ini merupakan penjumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Apabila sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan.

Sinyal keluaran kontrol I merupakan luas bidang yang dibentuk oleh kurva *error* penggerak. Sinyal keluaran akan bernilai sama dengan nilai sebelum ketika sinyal error bernilai nol.



Gambar 2.23 Blok Diagram Kontrol I

(Sumber : <http://www.info-elektro.com/2015/07/dasar-teori-pid-prortional-integral.html>)

Gain K_i dirumuskan dengan:

$$K_i = K_p \times \frac{1}{T_i} \quad (2.5)$$

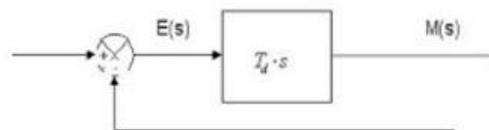
2.3.2.1 Karakteristik Kontrol I

1. Keluaran pengontrol membutuhkan selang waktu tertentu, sehingga pengontrol I cenderung memperlambat respon.
2. Saat sinyal kesalahan berharga nol, keluaran pengontrol akan bertahan pada nilai sebelumnya.
3. Jika sinyal kesalahan tidak berharga nol, keluaran akan menunjukkan kenaikan / penurunan yang dipengaruhi oleh besarnya sinyal kesalahan dan nilai K_i .

4. Konstanta Integral K_i yang berharga besar akan mempercepat hilangnya offset, namun semakin besar nilai konstanta K_i akan mengakibatkan peningkatan osilasi dari sinyal keluaran pengontrol.

2.3.3. Kontrol Derivatif (D)

Keluaran pengontrol D memiliki sifat seperti halnya suatu operasi diferensial. Perubahan yang mendadak pada masukan pengontrol akan mengakibatkan perubahan sangat besar dan cepat. Saat masukannya tidak mengalami perubahan, keluaran pengontrol juga tidak akan mengalami perubahan, sedangkan apabila sinyal masukan berubah mendadak dan menaik, sinyal keluaran menghasilkan sinyal berbentuk impuls. Jika sinyal masukan berubah naik secara perlahan, keluaran justru merupakan fungsi step yang besar magnitudnya sangat dipengaruhi oleh kecepatan naik dari fungsi ramp dan faktor konstanta diferensialnya.



Gambar 2.24 Blok Diagram Kontrol D

(Sumber : <http://www.info-elektro.com/2015/07/dasar-teori-pid-prortional-integral.html>)

Gain K_d dirumuskan dengan:

$$K_d = K_p \times T_d \quad (2.6)$$

2.3.3.1. Karakteristik Kontrol D

1. Pengontrol ini tidak dapat menghasilkan keluaran bila tidak ada perubahan pada masukannya.
2. Jika sinyal kesalahan berubah terhadap waktu, maka keluaran yang dihasilkan pengontrol tergantung pada nilai T_d dan laju perubahan sinyal kesalahan.
3. Pengontrol derivative mempunyai suatu karakter untuk mendahului, sehingga pengontrol ini dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum pembangkit kesalahan menjadi sangat besar.
4. Meningkatkan stabilitas sistem.

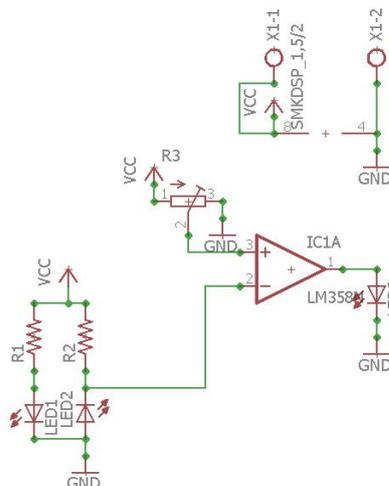
2.4. IR Sensor

Sensor Infrared (IR Sensor) adalah instrumen elektronik yang digunakan untuk mendeteksi karakteristik tertentu yang berada di sekitarnya dengan memancarkan dan/atau mendeteksi radiasi infrared. Sensor infrared juga mampu mengukur panas yang dipancarkan oleh benda dan pendeteksian dari gerakan benda. (Sumber: <http://www.automationindo.com>)



Gambar 2.25 IR Sensor

(Sumber : <https://www.cytron.io/p-infrared-sensor-module>)



Gambar 2.26 Skema IR Sensor

Pada dasarnya komponen yang menghasilkan panas juga menghasilkan radiasi infra merah termasuk tubuh manusia maupun tubuh binatang. Cahaya infra merah, walaupun mempunyai panjang gelombang yang sangat panjang tetap tidak dapat menembus bahan-bahan yang tidak dapat melewati cahaya yang nampak sehingga cahaya infra merah tetap mempunyai karakteristik seperti halnya cahaya yang nampak oleh mata. (Sumber : <http://blog.unnes.ac.id/>)

Rentang panjang gelombang yang berkisar antara 0,75 sampai 3 μ m dikenal sebagai *the near infrared regions*. Daerah antara 3 dan 6 μ m dikenal sebagai *the mid-infrared* dan radiasi infrared yang memiliki panjang gelombang lebih tinggi dari 6 μ m dikenal sebagai *far infrared*. (Sumber: <http://www.automationindo.com>)

2.4.1. Prinsip Kerja IR Sensor

Semua benda yang memiliki suhu lebih besar dari nol mutlak (0 kelvin) memiliki energy panas dan merupakan sumber radiasi infrared sebagai hasilnya. Sumber radiasi infrared meliputi radiator *blackbody*, lampu tungsten dan silicon karbida. Sensor infrared biasanya menggunakan laser infrared dan LED dengan panjang gelombang infrared tertentu sebagai sumber.

Media transmisi diperlukan untuk transmisi infrared, yang dapat terdiri dari vakum, atmosfer atau serat optic.

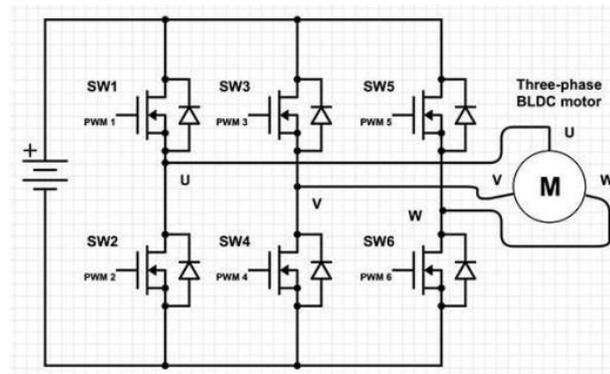
Komponen optic, seperti lensa optic yang terbuat dari lensa kuarsa, CaF_2 , Ge dan Si, polyethylene Fresnel dan cermin Al atau Au, digunakan untuk menggabungkan atau memfokuskan radiasi infrared. Untuk membatasi respon spectral, filter band-pass dapat digunakan.

Selanjutnya, detector infrared digunakan untuk mendeteksi radiasi yang telah difokuskan. Output dari detector biasanya sangat kecil dan karenanya pre-amplifiers ditambah dengan sirkuit diperlukan untuk memproses lebih lanjut sinyal yang diterima.

2.5. Driver Motor 3 Fasa

Salah satu fitur kunci dari motor BLDC adalah adanya driver yang digunakan untuk menggantikan sikat dan komutator pada motor DC konvensional sehingga bebas perawatan.

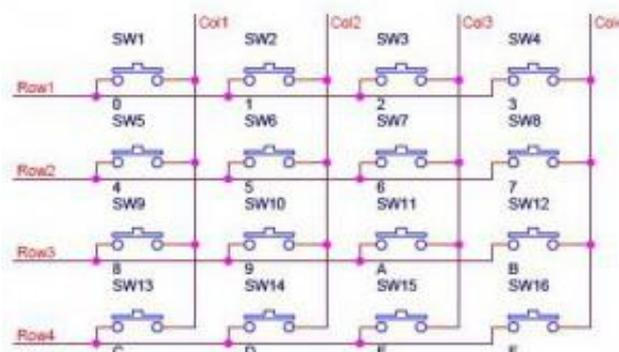
Driver motor tiga fasa berfungsi mengubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC). Untuk BLDC diperlukan driver motor tiga fasa yang terdiri dari 6 komponen switching. Berikut susunan dari keenam komponen switching driver motor tiga fasa [6].



Gambar 2.27 Driver Motor 3 Fasa
(Sumber : <https://www.digikey.com/en/>)

2.6. Keypad

Keypad berfungsi sebagai interface antara perangkat (mesin) elektronik dengan manusia atau dikenal dengan istilah HMI (Human Machine Interface). Matrix keypad 4×4 memiliki konstruksi atau susunan yang sederhana dan hemat dalam penggunaan port mikrokontroler. Konfigurasi *keypad* dengan susunan bentuk matrix ini bertujuan untuk penghematan port mikrokontroler karena jumlah *key* (tombol) yang dibutuhkan banyak pada suatu sistem dengan mikrokontroler.



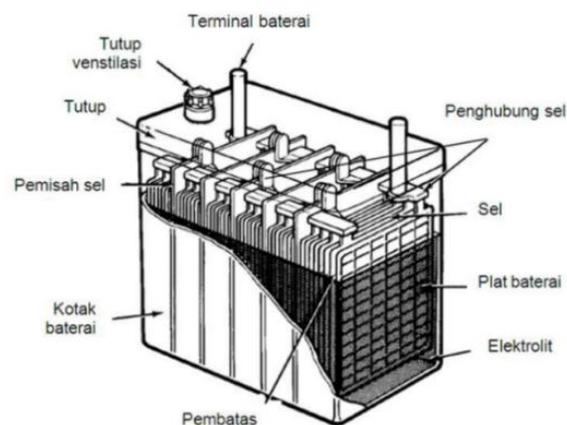
Gambar 2.28 Konstruksi matrix keypad 4 x 4
(Sumber : <http://elektronika-dasar.web.id>)

2.7. Accu

Akumulator (*accu*) adalah sebuah alat yang dapat menyimpan energi (umumnya energi listrik) dalam bentuk energi kimia. Contoh-contoh akumulator adalah baterai dan kapasitor.

Pada umumnya di Indonesia, kata akumulator (sebagai aki atau *accu*) hanya dimengerti sebagai “baterai” mobil. Sedangkan di bahasa Inggris, kata akumulator dapat mengacu kepada baterai, kapasitor, kompulsator, dll.

Dalam standar internasional setiap satu cell akumulator memiliki tegangan sebesar 2 volt. Sehingga *accu* 12 volt, memiliki 6 cell sedangkan *accu* 24 volt memiliki 12 cell. Bagian bagian dari *Accu* dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.29 Bagian – Bagian *Accu*
(Sumber : <https://www.kitapunya.net/2015/03/>)

Accu merupakan sel yang banyak kita jumpai karena banyak digunakan pada sepeda motor maupun mobil. *Accu* termasuk sel sekunder, karena selain menghasilkan arus listrik, *accu* juga dapat diisi arus listrik kembali. Secara sederhana *accu* merupakan sel yang terdiri dari elektrode Pb sebagai anode dan PbO₂ sebagai katode dengan elektrolit H₂SO₄.

2.8. Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah sistem komputer yang seluruh atau sebagian besar elemennya dikemas dalam satu chip IC, sehingga sering disebut dengan single chip microcomputer (Chamim, 2010). [5]

Mikrokontroler pada dasarnya adalah komputer dalam satu chip, yang di dalamnya terdapat mikroprosesor, memori, jalur Input/Output (I/O) dan perangkat pelengkap lainnya. Kecepatan pengolahan data pada mikrokontroler lebih rendah jika dibandingkan dengan PC. Pada PC kecepatan mikroprosesor yang

digunakan saat ini telah mencapai orde GHz, sedangkan kecepatan operasi mikrokontroler pada umumnya berkisar antara 1 – 16 MHz. Begitu juga kapasitas RAM dan ROM pada PC yang bisa mencapai orde Gbyte, dibandingkan dengan mikrokontroler yang hanya berkisar pada orde byte/Kbyte.[6]

Meskipun kecepatan pengolahan data dan kapasitas memori pada mikrokontroler jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan komputer personal, namun kemampuan mikrokontroler sudah cukup untuk dapat digunakan pada banyak aplikasi terutama karena ukurannya yang kompak. Mikrokontroler sering digunakan pada sistem yang tidak terlalu kompleks dan tidak memerlukan kemampuan komputasi yang tinggi.

Sistem yang menggunakan mikrokontroler sering disebut sebagai *embedded system* atau *dedicated system*. *Embedded system* adalah sistem pengendali yang tertanam pada suatu produk, sedangkan *dedicated system* adalah sistem pengendali yang dimaksudkan hanya untuk suatu fungsi tertentu. Sebagai contoh, printer adalah suatu *embedded system* karena di dalamnya terdapat mikrokontroler sebagai pengendali dan juga *dedicated system* karena fungsi pengendali tersebut berfungsi hanya untuk menerima data dan mencetaknya.

Pada mobil listrik ini, mikrokontroler akan digunakan untuk mengatur motor dan sensor. Adapun bentuk dari mikrokontroler dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.30 Mikrokontroler
(Sumber : <http://eprints.polsri.ac.id/>)

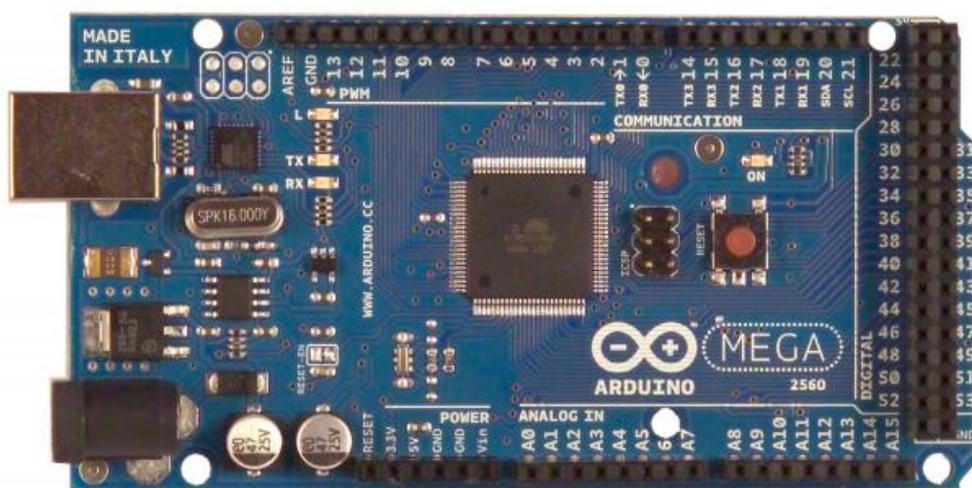
2.8.1. Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah board mikrokontroler yang berbasis pada ATmega2560. Memiliki 54 pin input / output digital (15 dapat digunakan sebagai output PWM), 16 input analog, 4 UART (port serial perangkat keras),

osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, colokan listrik, header ICSP, dan tombol reset. Berisi semua yang dibutuhkan untuk mendukung mikrokontroler, cukup hubungkan ke komputer dengan kabel USB atau nyalakan dengan adaptor AC ke DC atau baterai untuk memulai.

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Mega 2560

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz



Gambar 2.31 Arduino Mega 2560

(Sumber : <http://www.labelektronika.com/2017/02/arduino-mega-2560-mikrokontroler.html>)

2.8.1.1. Catu Daya Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 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* penghubung listrik. *Lead* dari baterai dapat dimasukkan ke dalam header pin GND dan Vin dari konektor Power.

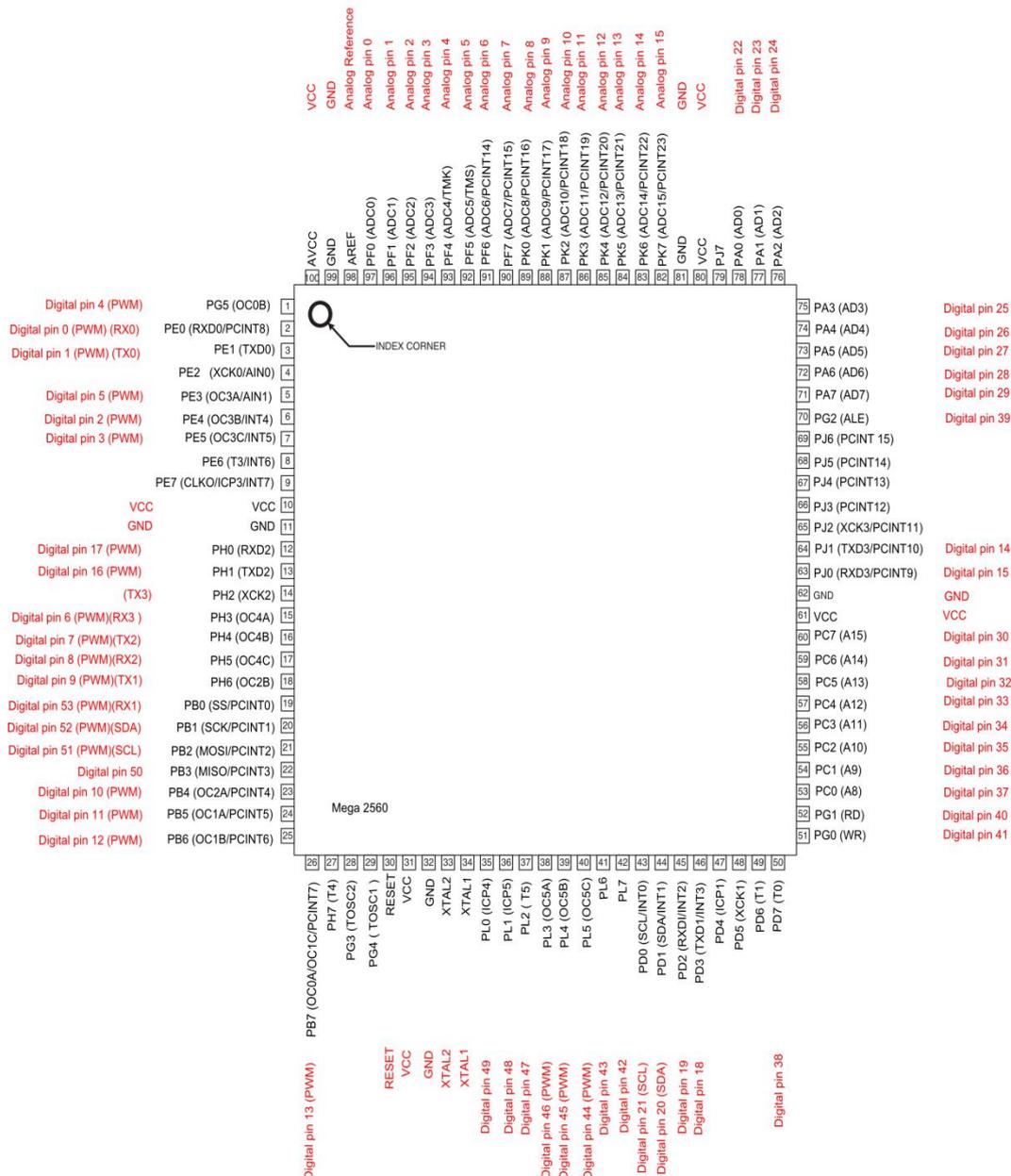
Board dapat beroperasi pada pasokan daya dari 6-20 volt. Jika diberikan dengan kurang dari 7V, bagaimanapun pin 5V dapat menyuplai kurang dari 5 Volt dan board mungkin tidak stabil. Jika menggunakan lebih dari 12 Volt, regulator tegangan bias panas dan merusak *Board*. Rentang yang dianjurkan adalah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

1. VIN. Tegangan input ke papan Arduino ketika menggunakan sumber daya eksternal (sebagai lawan 5 volt dari koneksi USB atau sumber daya diatur lainnya). Anda dapat menyediakan tegangan melalui pin ini, atau, jika memasok tegangan melalui colokan listrik, mengaksesnya melalui pin ini.
2. 5V. Catu daya yang diatur digunakan untuk daya mikrokontroler dan komponen lain di papan tulis. Hal ini dapat datang baik dari VIN melalui regulator on-board, atau disediakan oleh USB atau suplai 5V diatur lain.
3. 3V3. Sebuah pasokan 3,3 volt yang dihasilkan oleh regulator on-board. menarik arus maksimum adalah 50 mA.
4. GND. Pin Ground atau Massa.

2.8.1.2. Komunikasi Arduino Mega 2560

Atmega 2560 menyediakan empat UART hardware untuk TTL (5V) komunikasi serial. Sebuah ATmega8U2 pada saluran salah satu papan atas USB dan menyediakan port com virtual untuk perangkat lunak pada komputer. Perangkat lunak Arduino termasuk monitor serial yang memungkinkan data tekstual sederhana yang akan dikirim ke dan dari papan. RX dan TX LED di papan akan berkedip ketika data sedang dikirim melalui Atmega 8U2 Chip dan USB koneksi ke komputer (tapi tidak untuk komunikasi serial pada pin 0 dan 1). Berikut pada gambar 2.32 adalah pemetaan pin ATmega 2560.

Mikrokontroler yang digunakan pada Arduino Mega 2560 ini adalah Mikrokontroler ATmega 2560. Mikrokontroler inimenjadi komponen utama dari sistem minimum Arduino Mega 2560. Setiap pin mikrokontroler ATmega 2560 dipetakan sesuai dengan kebutuhan standar Arduino pada umumnya. Pemetaan pin (*Pin Mapping*) ATmega 2560 dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.32 Pemetaan Pin Arduino Mega 2560
(Sumber: <http://www.wilbo666.pbworks.com>)

Tabel 2.2 Pemetaan Pin Arduino Mega2560

No.Pin	Nama Pin	Peta Nama Pin
1	PG5 (OC0B)	Digital pin 4 (PWM)
2	PE0 (RXD0/PCINT8)	Digital pin 0 (RX0)
3	PE1 (TXD0)	Digital pin 1 (TX0)
4	PE2 (XCK0/AIN0)	
5	PE3 (OC3A/AIN1)	Digital pin 5 (PWM)
6	PE4 (OC3B/INT4)	Digital pin 2 (PWM)
7	PE5 (OC3C/INT5)	Digital pin 3 (PWM)
8	PE6 (T3/INT6)	
9	PE7 (CLKO/ICP3/INT7)	
10	VCC	VCC
11	GND	GND
12	PH0 (RXD2)	Digital pin 17 (RX2)
13	PH1 (TXD2)	Digital pin 16 (TX2)
14	PH2 (XCK2)	
15	PH3 (OC4A)	Digital pin 6 (PWM)
16	PH4 (OC4B)	Digital pin 7 (PWM)
17	PH5 (OC4C)	Digital pin 8 (PWM)
18	PH6 (OC2B)	Digital pin 9 (PWM)
19	PB0 (SS/PCINT0)	Digital pin 53 (SS)
20	PB1 (SCK/PCINT1)	Digital pin 52 (SCK)
21	PB2 (MOSI/PCINT2)	Digital pin 51 (MOSI)
22	PB3 (MISO/PCINT3)	Digital pin 50 (MISO)
23	PB4 (OC2A/PCINT4)	Digital pin 10 (PWM)
24	PB5 (OC1A/PCINT5)	Digital pin 11 (PWM)
25	PB6 (OC1B/PCINT6)	Digital pin 12 (PWM)
26	PB7 (OC0A/OC1C/PCINT7)	Digital pin 13 (PWM)
27	PH7 (T4)	
28	PG3 (TOSC2)	
29	PG4 (TOSC1)	
30	RESET	RESET
31	VCC	VCC
32	GND	GND
33	XTAL2	XTAL2
34	XTAL1	XTAL1
35	PL0 (ICP4)	Digital pin 49
36	PL1 (ICP5)	Digital pin 48

37	PL2 (T5)	Digital pin 47
38	PL3 (OC5A)	Digital pin 46 (PWM)
39	PL4 (OC5B)	Digital pin 45 (PWM)
40	PL5 (OC5C)	Digital pin 44 (PWM)
41	PL6	Digital pin 43
42	PL7	Digital pin 42
43	PD0 (SCL/INT0)	Digital pin 21 (SCL)
44	PD1 (SDA/INT1)	Digital pin 20 (SDA)
45	PD2 (RXDI/INT2)	Digital pin 19 (RX1)
46	PD3 (TXD1/INT3)	Digital pin 18 (TX1)
47	PD4 (ICP1)	
48	PD5 (XCK1)	
49	PD6 (T1)	
50	PD7 (T0)	Digital pin 38
51	PG0 (WR)	Digital pin 41
52	PG1 (RD)	Digital pin 40
53	PC0 (A8)	Digital pin 37
54	PC1 (A9)	Digital pin 36
55	PC2 (A10)	Digital pin 35
56	PC3 (A11)	Digital pin 34
57	PC4 (A12)	Digital pin 33
58	PC5 (A13)	Digital pin 32
59	PC6 (A14)	Digital pin 31
60	PC7 (A15)	Digital pin 30
61	VCC	VCC
62	GND	GND
63	PJ0 (RXD3/PCINT9)	Digital pin 15 (RX3)
64	PJ1 (TXD3/PCINT10)	Digital pin 14 (TX3)
65	PJ2 (XCK3/PCINT11)	
66	PJ3 (PCINT12)	
67	PJ4 (PCINT13)	
68	PJ5 (PCINT14)	
69	PJ6 (PCINT 15)	
70	PG2 (ALE)	Digital pin 39
71	PA7 (AD7)	Digital pin 29
72	PA6 (AD6)	Digital pin 28
73	PA5 (AD5)	Digital pin 27
74	PA4 (AD4)	Digital pin 26

75	PA3 (AD3)	Digital pin 25
76	PA2 (AD2)	Digital pin 24
77	PA1 (AD1)	Digital pin 23
78	PA0 (AD0)	Digital pin 22
79	PJ7	
80	VCC	VCC
81	GND	GND
82	PK7 (ADC15/PCINT23)	Analog pin 15
83	PK6 (ADC14/PCINT22)	Analog pin 14
84	PK5 (ADC13/PCINT21)	Analog pin 13
85	PK4 (ADC12/PCINT20)	Analog pin 12
86	PK3 (ADC11/PCINT19)	Analog pin 11
87	PK2 (ADC10/PCINT18)	Analog pin 10
88	PK1 (ADC9/PCINT17)	Analog pin 9
89	PK0 (ADC8/PCINT16)	Analog pin 8
90	PF7 (ADC7)	Analog pin 7
91	PF6 (ADC6)	Analog pin 6
92	PF5 (ADC5/TMS)	Analog pin 5
93	PF4 (ADC4/TMK)	Analog pin 4
94	PF3 (ADC3)	Analog pin 3
95	PF2 (ADC2)	Analog pin 2
96	PF1 (ADC1)	Analog pin 1
97	PF0 (ADC0)	Analog pin 0
98	AREF	Analog Reference
99	GND	GND
100	AVCC	VCC

2.8.1.3. Memory Arduino Mega 2560

Arduino ATmega 2560 memiliki 256 KB flash memory untuk menyimpan kode (8 KB digunakan untuk bootloader), 8 KB SRAM dan 4 KB EEPROM (yang dapat dibaca dan ditulis dengan perpustakaan EEPROM).

2.8.1.4. Input & Output Arduino Mega 2560

Masing-masing dari 54 pin digital pada Mega dapat digunakan sebagai input atau output, menggunakan `pinMode ()`, `digitalWrite ()`, dan `digitalRead ()` fungsi.

Mereka beroperasi di 5 volt. Setiap pin dapat memberikan atau menerima maksimum 40 mA dan memiliki resistor pull-up internal yang (terputus secara default) dari 20-50 KOhms. Selain itu, beberapa pin memiliki fungsi khusus:

Serial: 0 (RX) dan 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) dan 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) dan 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) dan 14 (TX). Digunakan untuk menerima (RX) dan mengirimkan data serial (TX) TTL. Pin 0 dan 1 juga terhubung ke pin dari ATmega8U2 USB-to-TTL Chip Serial.

1. Interupsi Eksternal: 2 (menggangu 0), 3 (menggangu 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), dan 21 (interrupt 2). Pin ini dapat dikonfigurasi untuk memicu interupsi pada nilai yang rendah, tepi naik atau jatuh, atau perubahan nilai. Lihat `attachInterrupt ()` fungsi untuk rincian.
2. PWM: 0 13. Memberikan output PWM 8-bit dengan fungsi `analogWrite ()`.
3. SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). Pin ini mendukung komunikasi SPI menggunakan perpustakaan SPI. Pin SPI juga pecah pada header ICSP, yang secara fisik kompatibel dengan Uno, Duemilanove dan Diecimila.
4. LED: 13. Ada built-in LED terhubung ke pin digital 13. Ketika pin tinggi nilai, LED menyala, ketika pin rendah, itu off.
5. I2C: 20 (SDA) dan 21 (SCL). Dukungan I2C (TWI) komunikasi menggunakan perpustakaan Kawat (dokumentasi di website Wiring). Perhatikan bahwa pin ini tidak di lokasi yang sama dengan pin I2C pada Duemilanove atau Diecimila.

Arduino Mega 2560 memiliki 16 input analog, yang masing-masing menyediakan 10 bit resolusi (yaitu 1024 nilai yang berbeda). Secara default mereka mengukur dari tanah ke 5 volt, meskipun adalah mungkin untuk mengubah batas atas dari kisaran mereka menggunakan pin AREF dan fungsi `analogReference ()`.

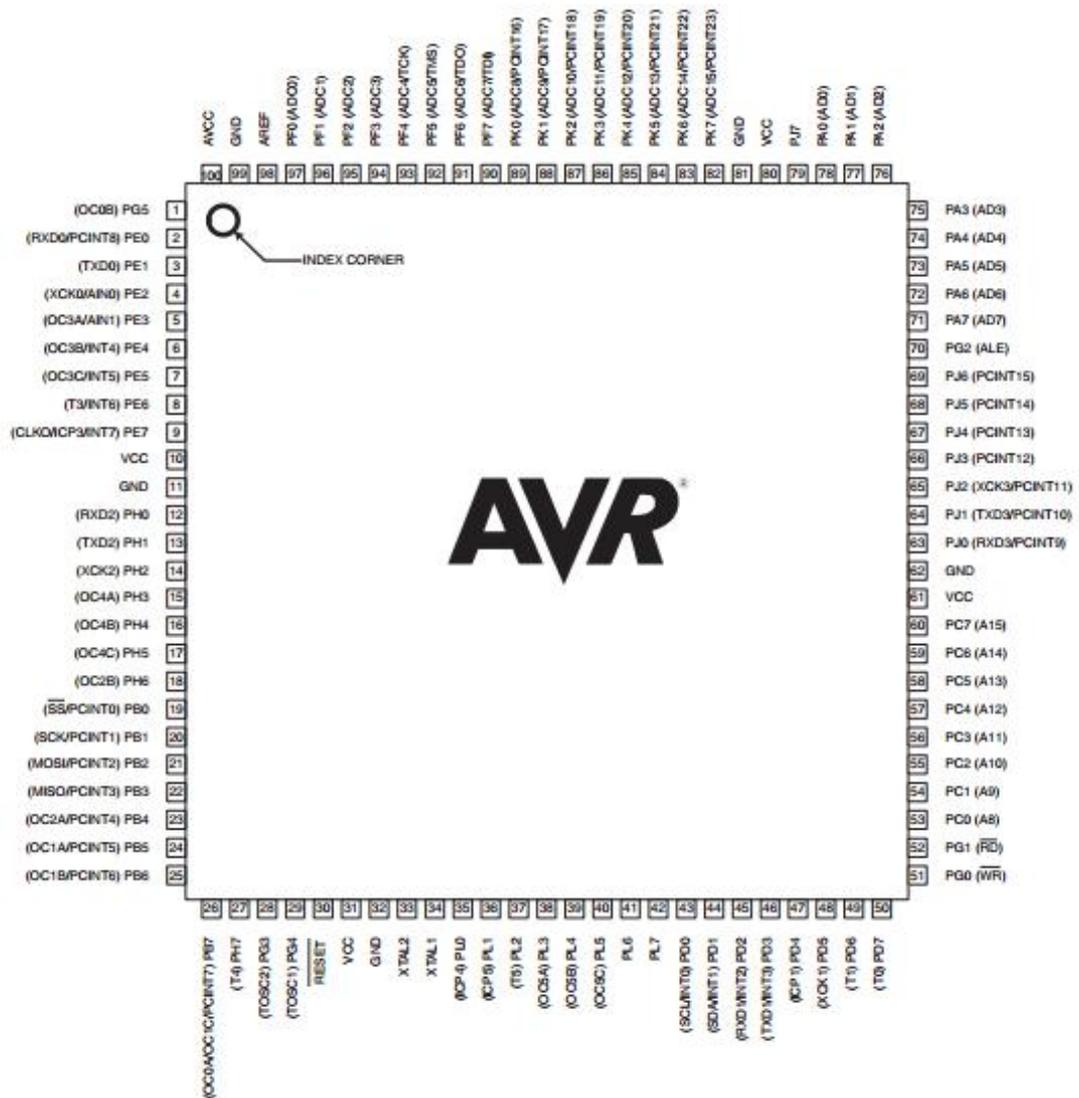
Ada beberapa pin lainnya di papan:

1. AREF. Tegangan referensi untuk input analog. Digunakan dengan `analogReference ()`.

- Reset. Bawa garis LOW ini untuk me-reset mikrokontroler. Biasanya digunakan untuk menambahkan tombol reset untuk perisai yang menghalangi satu di papan tulis.

2.8.2. ATmega 2560

ATmega 2560 merupakan prosesor utama dari Arduino Mega2560, prosesor ini memiliki 54 pin input / output digital (15 dapat digunakan sebagai output PWM), 16 input analog, 4 UART (port serial perangkat keras), osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, colokan listrik, header ICSP, dan tombol reset. Berisi semua yang dibutuhkan untuk mendukung mikrokontroler.



Gambar 2.33 Konfigurasi ATmega 2560