

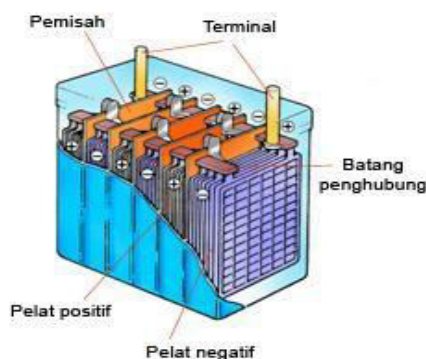
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sumber Daya (Aki 12 Volt)

Baterai Aki atau sering disebut *accumulator*, adalah salah satu komponen utama dalam kendaraan bermotor, baik mobil atau sepeda motor. Aki dapat digunakan untuk menyimpan dan memberikan tenaga listrik. Pada proses pengisian, tenaga listrik diubah menjadi tenaga kimia, pada pembuangannya muatan tenaga kimia yang tersimpan diubah menjadi tenaga listrik. Aki memiliki kapasitas sebuah sel aki diukur dalam jam-Ampere (Ah), yang dimaksud dengan kapasitas adalah jumlah Ah yang dapat diberikan oleh sebuah sel yang berisi muatan sampai tegangannya turun menjadi kira-kira 1,83 V (99,1%). Sebuah aki dengan kapasitas 100 Ah dapat memberikan arus 25 A selama 4 jam.

Terdapat 2 jenis aki yaitu aki basah dan aki kering. Aki basah merupakan jenis aki yang perlu diberi air aki yang dikenal dengan sebutan *accu zuur*. Sedangkan aki kering merupakan jenis aki yang tidak memakai cairan. Dalam aki terdapat elemen dan sel untuk penyimpanan arus yang mengandung asam sulfat (H_2SO_4). Tiap sel berisikan pelat positif dan pelat negatif. Pada pelat positif terkandung oksid timbal coklat (PbO_2), sedangkan pelat negatif mengandung timbal. Pada **Gambar 2.1** merupakan sel-sel pada aki.



Gambar 2.1 Sel Aki

(Arnold, von Robert, Elektronika untuk pendidikan teknik. 1987 No. 133,136).

Aki memiliki 2 kutub/terminal, kutub positif dan kutub negatif. Biasanya kutub positif (+) lebih besar atau lebih tebal dari kutub negatif (-), untuk menghindarkan kelalaian bila aki hendak dihubungkan dengan kabel-kabelnya. (Arnold, von Robert, Elektronika untuk pendidikan teknik.1987 No. 133,136).

2.2 *TFT LCD (Thin Film Transistor Liquid Crystal Display)*

TFT LCD adalah kepanjangan dari *Thin Film Transistor*, merupakan jenis layar *LCD handphone* atau *smartphone* yang umum dari tipe lainnya. Pada laporan akhir ini, *TFT LCD* digunakan sebagai pengunci untuk mengaktifkan *Joystick* pada kursi roda elektrik. *TFT* dapat diartikan sebagai salah satu tipe layar *Liquid Crystal Display (LCD)* yang datar, dimana tiap-tiap pixel dikontrol oleh satu hingga empat transistor.

Layar *TFT* sering disebut juga *active-matrix LCD*. Layar ini dapat menampilkan gambar yang kaya warna dan permukaannya sensitif terhadap sentuhan. Selain itu layar ini tidak cocok untuk tampilan yang eksak seperti untuk CAD. Pada **Gambar 2.2** merupakan *touchscreen* jenis *TFT LCD*.



Gambar 2.2 *TFT LCD*

(http://www.electronicsforu.com/lcd-tft-c-30_33.html.2015)

Jenis layar *TFT*, menawarkan kualitas yang lebih baik, termasuk gambar dan resolusi lebih tinggi jika dibandingkan dengan generasi layar sebelumnya. Namun layar *TFT* mempunyai keterbatasan pada sudut pandang dan visibilitas yang sempit ketika berhadapan dengan cahaya langsung atau sinar matahari. Tampilan layar *TFT* mengkonsumsi daya baterai yang cukup besar, karenanya kurang bagus untuk pemakaian yang lama.

(<https://layar-lcd-TFT>.2015)

2.3 Joystick

2.3.1 Pengertian Joystick

Joystick adalah komponen yang berbentuk seperti tuas atau tongkat yang dapat digerakan ke berbagai arah untuk mendapatkan posisi yang diinginkan. Pada umumnya *Joystick* ini memiliki 2 *axis* yaitu *axis X* dan *axis Y* dan 1 *push button*. Pengaplikasian *Joystick* ini banyak dijumpai pada *joystick game PlayStation, X-Box*, pengendali motor, dan lain – lain.



Gambar 2.3 *Joystick Bi-axial*

(<http://www.tutorial-arduino-modul-joystick.html>.2017)

Pada **Gambar 2.3** merupakan *Joystick* jenis *Bi-axial*. *Joystick* ini merupakan jenis *Joystick* yang memiliki sumbu ganda atau dengan kata lain dapat membaca masukkan gerakan pada 2 sumbu horizontal x dan y secara presisi dan akurat, *Joystick* ini juga dapat berfungsi sebagai tombol tekan pada sumbu Z.

2.3.2 Spesifikasi Joystick Bi-axial

Spesifikasi dari *joystick Bi-axial* yaitu, sebagai berikut :

- Terdapat *dual-axis X,Y*
- Dimensi : 4cm x 2.6cm x 3.2cm
- Terdapat 2 *potentiometers* untuk 2 axis
- Terdapat 1 *switch (push button)*
- pin kaki: +5Vcc – GND – VRx – VRy – SW

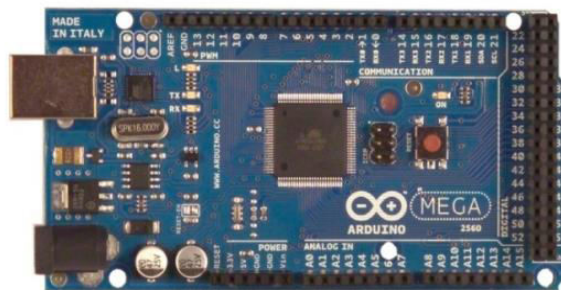
(<http://www.tutorial-arduino-modul-joystick.html>.2017)

2.4 Arduino Mega 2560

2.4.1 Pengertian Arduino

Arduino adalah Board berbasis Mikrokontroler atau papan rangkaian elektronik *open source* yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu

sebuah chip Mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel. Mikrokontroler itu sendiri adalah chip atau IC (*integrated circuit*) yang bisa diprogram menggunakan computer. Tujuan menanamkan program pada Mikrokontroler adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca input, memproses input tersebut dan kemudian menghasilkan output sesuai yang diinginkan. Jadi, Mikrokontroler bertugas sebagai otak yang mengendalikan proses input, dan output sebuah rangkaian elektronik.



Gambar 2.4 *Arduino Mega 2560*
(*Arduino Mega 2560 Datasheet.pdf.2014*)

Pada **Gambar 2.4** merupakan jenis *Arduino Mega type 2560*, *Arduino Mega 2560* adalah papan pengembangan mikrokontroler yang berbasis *Arduino* dengan menggunakan *chip ATmega 2560*. Board ini memiliki pin I/O yang cukup banyak, sejumlah 54 buah digital I/O pin (15 pin diantaranya adalah *PWM*), 16 pin analog input, 4 pin UART (serial port hardware). *Arduino Mega 2560* dilengkapi dengan sebuah oscillator 16 Mhz, sebuah port USB, *power jack* DC, ICSP header, dan tombol reset. *Board* ini sudah sangat lengkap, sudah memiliki segala sesuatu yang dibutuhkan untuk sebuah mikrokontroler.

2.4.2 *Spesifikasi Arduino Mega 2560*

Tabel 2.1 *Spesifikasi Arduino Mega 2560*

No	Perangkat	Keterangan
1.	Chip Mikrokontroler	<i>ATmega2560</i>
2.	Tegangan operasi	5V
3.	Tegangan input (yang direkomendasikan, via jack DC)	7V - 12V
4.	Tegangan input (limit, via jack DC)	6V - 20V

5. Digital I/O pin	54 buah, 6 diantaranya menyediakan <i>PWM</i> output
6. Analog Input pin	16 buah
7. Arus DC per pin I/O	20 mA
8. Arus DC pin 3.3V	50 mA
9. Memori Flash	256 KB, 8 KB telah digunakan untuk bootloader
10. SRAM	8 KB
11. EEPROM	4 KB
12. Clock speed	16 Mhz
13. Dimensi	101.5 mm x 53.4 mm
14. Berat	37 g

(Heri Andrianto, Aan Darmawan, Belajar Arduino, Januari 2016 hal.27-34).

2.4.3 Catu Daya

Arduino Mega dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan Catu daya *Eksternal*. Sumber listrik dipilih secara otomatis. *Eksternal (nonUSB)* daya dapat datang baik dari AC-DC adaptor atau baterai.

Arduino Mega 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 :

- 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.
- 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.
- 3V3. Sebuah pasokan 3,3 volt yang dihasilkan oleh *regulator on-board*. menarik arus maksimum adalah 50 mA.
- GND. *Ground pins*.

2.4.4 Memory

ATmega2560 memiliki 256 KB dari memori *flash* untuk menyimpan kode (8 KB digunakan untuk *bootloader*), 8 KB dari SRAM dan 4 KB EEPROM (yang dapat dibaca dan ditulis dengan perpustakaan EEPROM).

2.4.5 Input & Output

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*.

- 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.
- *PWM*: 0 13. Memberikan output *PWM* 8-bit dengan fungsi analog *Write* () .
- *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.
- *LED*: 13. Ada built-in LED terhubung ke pin digital 13. Ketika pin tinggi nilai, LED menyala, ketika pin rendah, itu off.
- *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.

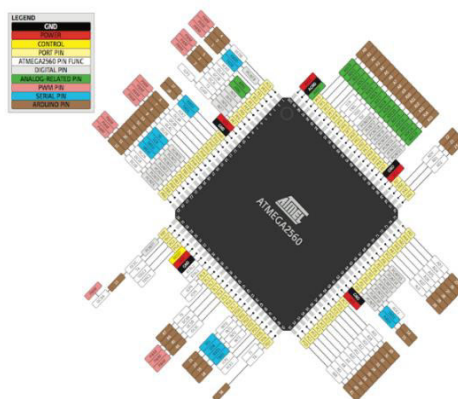
Arduino Mega 2560 memiliki 16 input analog, yang masing-masing menyediakan 10 bit resolusi (yaitu 1024 nilai yang berbeda). Secara default

mereka mengukur dari tanah ke 5 volt, meskipun adalah mungkin untuk mengubah batas atas dari kisaran mereka menggunakan pin AREF dan fungsi *Analog Reference ()*. Pin lainnya pada *Arduino Mega 2560* sebagai berikut:

- 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.

2.4.6 Komunikasi

Arduino Mega 2560 memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, *Arduino* lain, atau Mikrokontroler lainnya. *ATmega2560* menyediakan empat UART hardware untuk TTL (5V) komunikasi serial. Sebuah *ATmega 8U2* pada saluran salah satu papan atas USB dan menyediakan port com virtual untuk perangkat lunak pada komputer (mesin *Windows* akan membutuhkan file *.inf*, tapi *OSX* dan *Linux* mesin akan mengenali papan sebagai port COM secara otomatis. Berikut pada **Gambar 2.5** adalah pemetaan pin *ATMega 2560*.



Gambar 2.5 Pemetaan Pin *ATMega 2560*.
(<http://forum.Arduino.cc/index.html>.2014)

Perangkat lunak *Arduino* termasuk monitor serial yang memungkinkan data tekstual sederhana yang akan dikirim. TRX dan TX LED 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). Sebuah *Software*

Serial memungkinkan untuk komunikasi serial pada setiap pin *digital Mega 2560* ini. *ATMega 2560* juga mendukung I2C (TWI) dan komunikasi SPI.

2.4.7 Pemrograman

Arduino Mega dapat diprogram dengan software *Arduino (download)*. Untuk rincian, lihat referensi dan tutorial *ATMega 2560* pada *ArduinoMega* datang preburned dengan *bootloader* yang memungkinkan Anda untuk meng-*upload* kode baru untuk itu tanpa menggunakan *programmer hardware eksternal*. Ini berkomunikasi menggunakan asli STK500 protokol (referensi, file header C). Selain itu juga dapat memotong *bootloader* dan memprogram Mikrokontroler melalui ICSP (*InCircuit Serial Programming*) kepala.

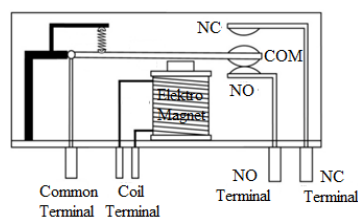
2.4.8 Perangkat Lunak Program IDE

Lingkungan *Open-source Arduino* memudahkan untuk menulis kode dan meng-*upload* ke *board Arduino*, ini berjalan pada *Windows, Mac OS X, dan Linux*. Berdasarkan pengolahan, AVR-GCC dan perangkat lunak sumber terbuka lainnya.

(Heri Andrianto, Aan Darmawan, Belajar Arduino.hal.27-34.2016).

2.5 Relay

Relay adalah Saklar (*Switch*) yang dioperasikan dengan menggunakan sumber tegangan atau arus dan merupakan komponen *Electromechanical* (Elektromekanikal) yang terdiri dari 2 bagian utama yakni *Elektromagnet (Coil)* dan *Mekanikal* (seperangkat Kontak Saklar/*Switch*).



Gambar 2.6 Relay

(<http://relay-test-circuit-no-nc.2016>)

Pada **Gambar 2.6** merupakan bagian dalam dari *Relay*. *Relay* merupakan komponen listrik yang bekerja berdasarkan prinsip induksi medan elektromagnetis

sehingga dengan arus listrik yang kecil (*low power*) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi. Sebagai contoh, dengan *Relay* yang menggunakan elektromagnet 5V dan 50 mA mampu menggerakkan *Armature Relay* (yang berfungsi sebagai saklarnya) untuk menghantarkan listrik 220V 2A. Jadi *Relay* bisa digunakan pada *switch* tegangan tinggi dan arus yang besar.

Jika sebuah penghantar dialiri oleh arus listrik, maka di sekitar penghantar tersebut timbul medan magnet. Medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik tersebut selanjutnya diinduksikan ke logam *ferromagnetis*. Logam *ferromagnetis* adalah logam yang mudah terinduksi medan elektromagnetis. Ketika ada induksi magnet dari lilitan yang membelit logam, logam tersebut menjadi magnet buatan yang sifatnya sementara.

(<http://pengertian-relay-fungsi-relay.2017>)

2.6 *Controller 350W/48V*

Controller merupakan komponen-komponen elektronik yang dirangkai menjadi satu kesatuan system yang berfungsi sebagai pengendali dan penggerak putaran pada motor *Brushless DC*. Kontroler berperan sebagai pengendali arah putaran dan kecepatan putaran dengan cara mengatur kerja *Driver* yang berperan sebagai *Switching* dengan menggunakan metode *H-Bridge MOSFET* pada motor *Brushless DC*.

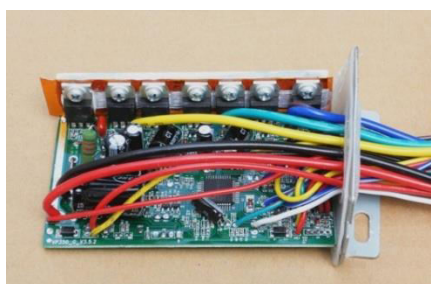


Gambar 2.7 *Controller 350W/48V*
(http://Controller 48V_350W.2015)

Pada **Gambar 2.7** merupakan *Controller 48 V/350 W* yang digunakan pada alat kursi roda elektrik. Dalam pengontrolannya digunakan dua buah

Controller 48V/350W untuk dua buah motor *BLDC*. *Controller* 48V/350W ini digunakan dalam pembuatan alat kursi roda elektrik karena penggunaan dalam pengontrolan motor yang sesuai dengan motor *BLDC* yang digunakan yaitu menggunakan tegangan 48V dan *power* 350W.

Pada **Gambar 2.8** merupakan rangkaian dalam pada *Controller* 48V/350W, dalam rangkaian tersebut terdiri dari beberapa komponen terutama transistor *MOSFET* yang berjumlah 6 buah *MOSFET* type P75NF75.

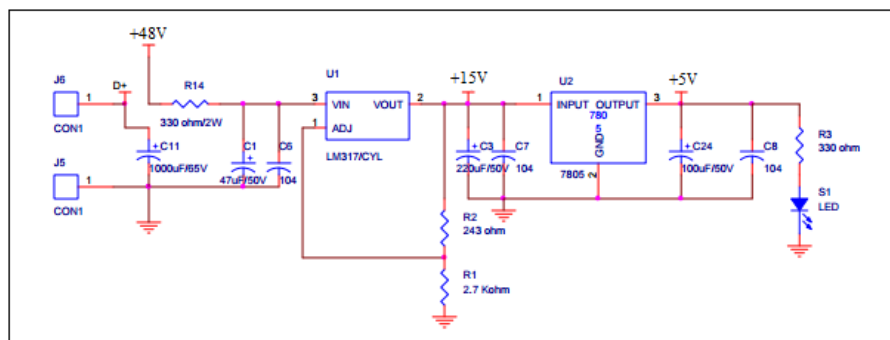


Gambar 2.8 Rangkaian *Controller* 48V/350W
(<https://Brushless-controller-BLDC-motor-controller.html>.2016)

Dari **Gambar 2.8** diatas rangkaian tersebut di bagi dalam setiap fungsi masing-masing, bagian tersebut terdiri dari *Sistem Power Suplay* dan pengaman *Voltase*, rangkaian *H-Bridge MOSFET*, *Input Hall Sensor*, dan sistem aksesoris.

2.6.1 *Sistem Power Suplay dan Pengaman Voltase*

Pada **Gambar 2.9** merupakan skema rangkaian *sistem power suplay* dan pengaman *Voltase*.



Gambar 2.9 Skema Rangkaian *Sistem Power Suplay* dan Pengaman *Voltase*
(<http://www.electricisart-bogipower.com>.2014.html)

Kunci pada rangkaian tersebut terdapat pada komparator yang mengatur *Upper Voltage* yang terdiri dari, sebagai berikut :

- *Suplay Output 5V* ke: *Suplay Microprocessor, Supplay Speed, Supplay Hall Sensor.*
- Output 15V ke: *Suplay transisto penguat MOSFET.*
- Output 48V ke: *positif channel MOSFET (Source).*

2.6.2 Driver H-Bridge MOSFET

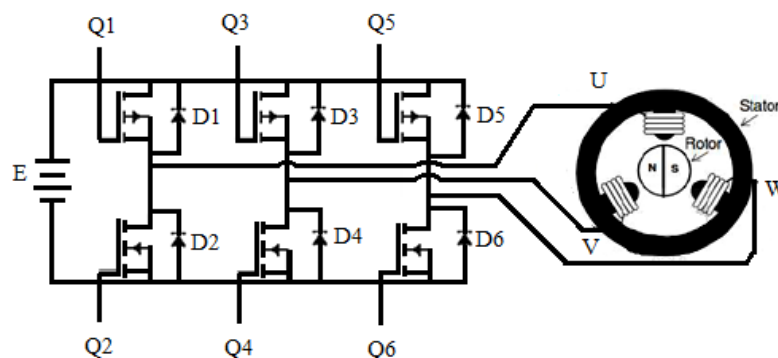
2.6.2.1 Metode H-Bridge

Driver motor DC tipe H-Bridge menggunakan *Power Driver* berupa transistor, transistor ini berfungsi sebagai saklar yaitu dengan menghasilkan keadaan *on* dan keadaan *off*. Keadaan *off*/tutup merupakan suatu keadaan di mana tidak ada arus yang mengalir. Keadaan *on*/buka merupakan satu keadaan yang mana arus bisa mengalir dengan bebas atau dengan kata lain (secara ideal) tidak ada resistivitas dan besar *voltase* pada saklar sama dengan nol.

Driver Motor H-Bridge MOSFET merupakan bagian yang berfungsi untuk mengendalikan motor *BLDC* yang mengatur arah putaran motor maupun kecepatan putar motor bergantung dari nilai tegangan yang diinputkan pada input *driver* itu sendiri.

Pada laporan ini, akan menjelaskan tentang konfigurasi dari *H-Bridge MOSFET* terhadap perubahan komutasi motor *BLDC* pada setiap step untuk menjadi satu putaran penuh dengan pengaturan arah searah jarum jam maupun berlawanan arah jarum jam.

Pada **Gambar 2.10** merupakan rangkaian *driver* motor dengan metode *H-Bridge MOSFET* pada *Controller 350W/48V*. Konfigurasi metode *H-Bridge MOSFET* ini untuk mengetahui perubahan komutasi motor *BLDC* setiap step. Sistem komutasi ini diartikan sebagai fungsi dari *switch* elektronik yang terdiri dari kombinasi transistor *MOSFET* untuk mengaktifkan koil dengan waktu yang tepat sehingga dapat menggerakkan Motor *BLDC*.

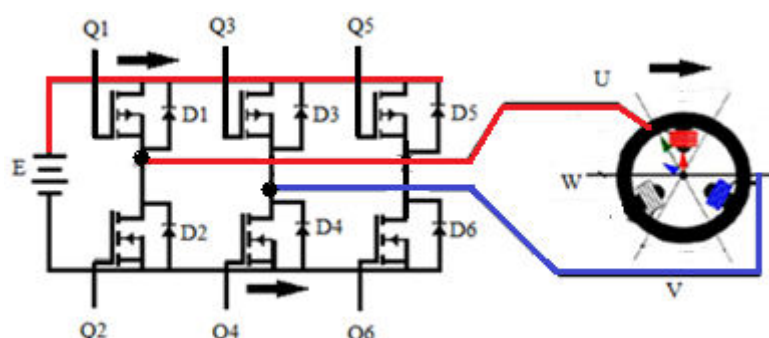


Gambar 2.10 Konfigurasi Rangkaian *Driver* Motor *H-Bridge MOSFET* (Ridhwan, Taufiq.Pergerakan Daya Motor *BLDC* 350W/48V.pdf.2012)

Rangkaian *Driver* motor *H-Bridge MOSFET* merupakan konfigurasi dari metode *H-Bridge MOSFET* yang terdiri dari tiga buah *MOSFET* kanal P dan tiga buah *MOSFET* kanal N. Dalam perubahan arah putaran Motor *BLDC* tergantung pada tegangan yang terhubung pada tipe kanal *MOSFET*. Jika *MOSFET* kanal P diberikan tegangan positif dan *MOSFET* kanal N diberikan tegangan *ground* maka, motor *BLDC* berputar searah jarum jam. Sebaliknya, jika *MOSFET* kanal P diberikan tegangan positif dan *MOSFET* kanal N diberikan tegangan *ground* maka, motor *BLDC* berputar berlawanan arah jarum jam.

- Konfigurasi Metode *H-Bridge MOSFET* Terhadap Perubahan Komutasi Motor *BLDC* Setiap Step Pada Pengaturan Searah Jarum Jam.

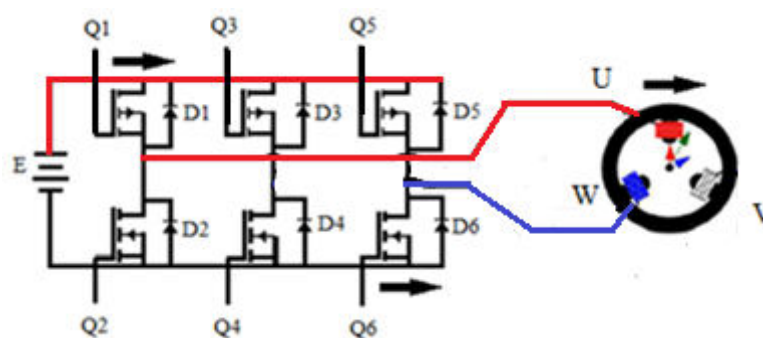
Pada **Gambar 2.11** merupakan konfigurasi dengan metode *H-Bridge MOSFET* terhadap perubahan komutasi Motor *BLDC* step 1.



Gambar 2.11 Konfigurasi *H-Bridge MOSFET* Terhadap Perubahan Komutasi Motor *BLDC* Searah Jarum Jam Step 1 (Ridhwan, Taufiq.Pergerakan Daya Motor *BLDC* 350W/48V.pdf.2012)

Pada konfigurasi *H-Bridge MOSFET* terhadap perubahan komutasi Motor *BLDC* step 1. Fasa U dihubungkan ke kutub positif baterai aki pada bus Motor *BLDC* melalui (Q1), lalu fasa V dihubungkan ke netral ground melalui (Q4), untuk fasa W tidak diberikan sinyal. 2 buah vektor fluks dihasilkan oleh fasa U (panah merah) dan fasa V (panah biru). Jumlah dari kedua vektor tersebut menghasilkan vektor fluks pada stator (panah hijau) dimana rotor akan berusaha mengikuti arah fluks stator tersebut. Pada kondisi ini motor sedang *standby* untuk berputar, ketika posisi rotor sudah mencapai posisi tertentu yang diberikan.

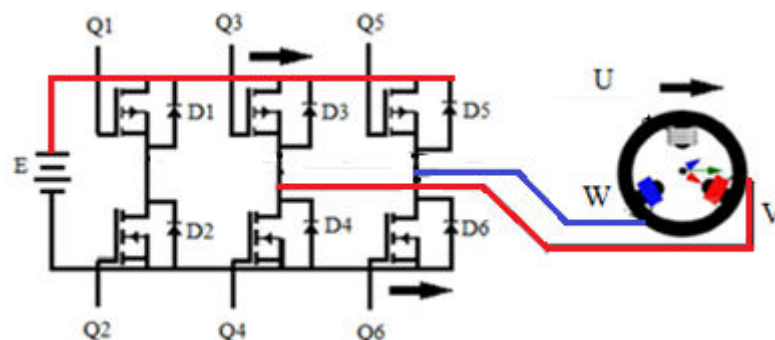
Pada **Gambar 2.12** merupakan konfigurasi dengan metode *H-Bridge MOSFET* terhadap perubahan komutasi Motor *BLDC* step 2.



Gambar 2.12 Konfigurasi *H-Bridge MOSFET* Terhadap Perubahan Komutasi Motor *BLDC* Searah Jarum Jam Step 2 (Ridhwan, Taufiq. Pergerakan Daya Motor *BLDC* 350W/48V.pdf.2012)

Pada konfigurasi *H-Bridge MOSFET* terhadap perubahan komutasi Motor *BLDC* step 2. Tahapan dari step 2 ini sama seperti step 1 tapi, pada step ini fasa V sekarang tidak diberikan sinyal tetapi fasa W yang sekarang terhubung ke netral ground (Q6), dan pada fasa U tetap di posisi terhubung ke positif melalui (Q1). 2 buah vektor fluks dihasilkan oleh fasa U (Panah merah) dan fasa W (Panah biru) dimana posisi vektor fluks stator (Panah hijau). Pada kondisi ini menghasilkan pola tegangan baru tercipta dari Motor *BLDC* dan rotor akan berusaha mengikuti arah fluks stator tersebut.

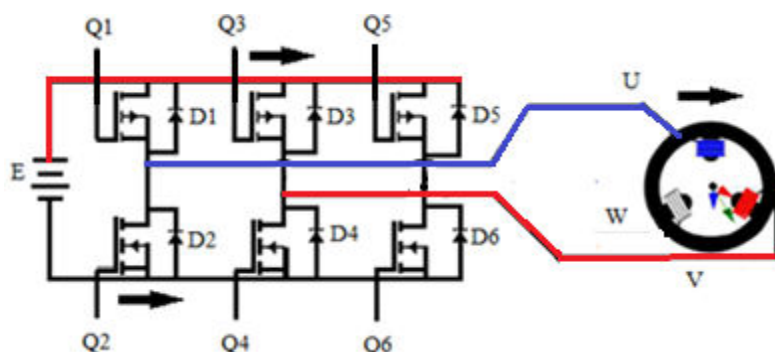
Pada **Gambar 2.13** merupakan konfigurasi dengan metode *H-Bridge MOSFET* terhadap perubahan komutasi Motor *BLDC* step 3.



Gambar 2.13 Konfigurasi *H-Bridge MOSFET* Terhadap Perubahan Komutasi Motor *BLDC* Searah Jarum Jam Step 3
(Ridhwan, Taufiq. Pergerakan Daya Motor *BLDC* 350W/48V. pdf.2012)

Pada konfigurasi *H-Bridge MOSFET* terhadap perubahan komutasi Motor *BLDC* step 3. Pada step ini fasa yang aktif adalah V-W yang artinya fasa V (Panah biru) terhubung ke kutub positif melalui (Q3) dan fasa W (Panah merah) terhubung ke netral ground melalui (Q6) sedangkan fasa U tidak diberikan sinyal sehingga posisi vektor fluks stator berada pada posisi tersebut (Panah hijau). Pada kondisi ini untuk menentukan *switch* (Q) mana saja yang aktif ketika fasa tertentu yang akan diberikan sinyal sehingga arah putaran rotor dapat terlihat dan rotor akan berusaha mengikuti arah fluks stator tersebut (Panah hijau).

Pada **Gambar 2.14** merupakan konfigurasi dengan metode *H-Bridge MOSFET* terhadap perubahan komutasi Motor *BLDC* step 4.

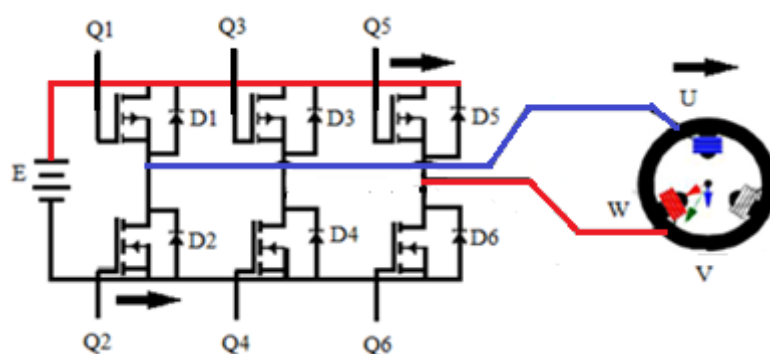


Gambar 2.14 Konfigurasi *H-Bridge MOSFET* Terhadap Perubahan Komutasi Motor *BLDC* Searah Jarum Jam Step 4
(Ridhwan, Taufiq. Pergerakan Daya Motor *BLDC* 350W/48V. pdf.2012)

Pada konfigurasi *H-Bridge MOSFET* terhadap perubahan komutasi Motor *BLDC* step 4. Step ini fasa yang aktif adalah V-U yang artinya fasa V (Panah

merah) tetap terhubung ke kutub positif melalui (Q3) dan fasa U (Panah biru) terhubung ke netral ground melalui (Q2) sedangkan fasa W tidak diberikan sinyal sehingga, rotor terus berputar kearah fluks stator (Panah hijau).

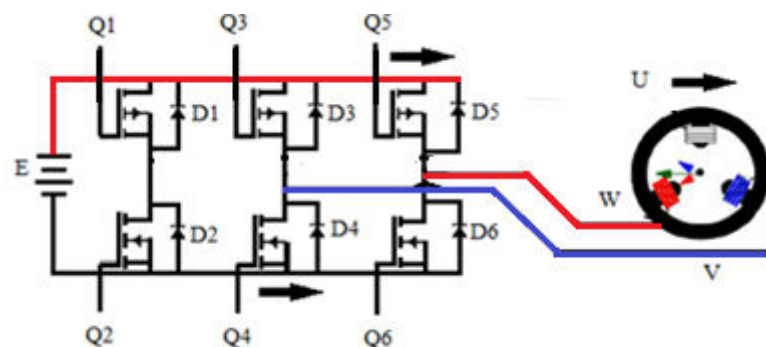
Pada **Gambar 2.15** merupakan konfigurasi dengan metode *H-Bridge MOSFET* terhadap perubahan komutasi Motor *BLDC* step 5.



Gambar 2.15 Konfigurasi *H-Bridge MOSFET* Terhadap Perubahan Komutasi Motor *BLDC* Searah Jarum Jam Step 5
(Ridhwan, Taufiq. Pergerakan Daya Motor *BLDC* 350W/48V.pdf.2012)

Pada konfigurasi *H-Bridge MOSFET* terhadap perubahan komutasi Motor *BLDC* step 5, fasa yang diaktifkan adalah fasa W-U yang artinya fasa W (Panah merah) terhubung ke kutub positif melalui (Q5) dan fasa U (Panah biru) terhubung ke netral ground melalui (Q2) sedangkan fasa V tidak diberikan sinyal sehingga arah putaran rotor terus mengikuti arah vector fluks stator yang dihasilkan (Panah hijau).

Pada **Gambar 2.16** merupakan konfigurasi dengan metode *H-Bridge MOSFET* terhadap perubahan komutasi Motor *BLDC* step 6. Pada step 6, terjadi proses yang sama dengan step-step sebelumnya, fasa yang diaktifkan adalah W-V yang artinya fasa W (Panah merah) terhubung ke kutub positif melalui (Q5) dan fasa V (Panah biru) terhubung ke netral ground melalui (Q4) sedangkan fasa U tidak diberikan sinyal dan selanjutnya proses putaran kembali lagi ke step 1 (Panah hijau).



Gambar 2.16 Konfigurasi *H-Bridge MOSFET* Terhadap Perubahan Komutasi Motor *BLDC* Searah Jarum Jam Step 6 (Ridhwan, Taufiq. *Pergerakan Daya Motor BLDC 350W/48V.pdf*.2012)

Itulah 6 langkah (step) putaran elektris motor *BLDC* untuk melakukan 1 putaran penuh mekanis motor *BLDC*. Pada **Tabel 2.2** dibawah ini merupakan Konfigurasi Metode *H-Bridge MOSFET* Terhadap Perubahan Komutasi Motor *BLDC* setiap Step Pada Pengaturan Motor *BLDC* searah jarum jam.

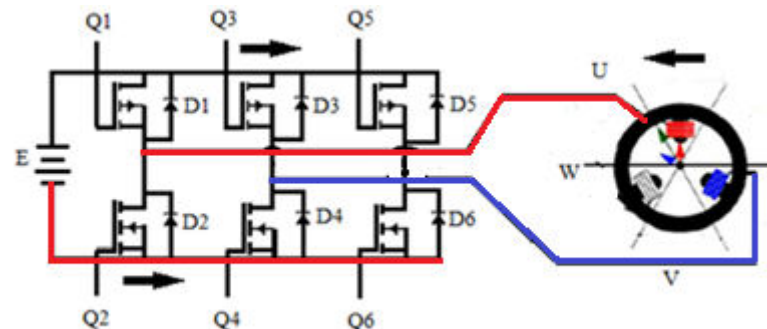
Tabel 2.2 Konfigurasi Metode *H-Bridge MOSFET* Terhadap Perubahan Komutasi Motor *BLDC* Setiap Step Pada Pengaturan Searah Jarum Jam

Step	Phasa	Switches	Sudut (Derajat)
Step 1	U-V	Q1:Q2	0
Step 2	U-W	Q1:Q6	60
Step 3	V-W	Q3:Q6	120
Step 4	V-U	Q3:Q2	180
Step 5	W-U	Q5:Q2	240
Step 6	W-V	Q5:Q4	360

- Konfigurasi Metode *H-Bridge MOSFET* Terhadap Perubahan Komutasi Motor *BLDC* Setiap Step Pada Pengaturan Berlawanan Arah Jarum Jam.

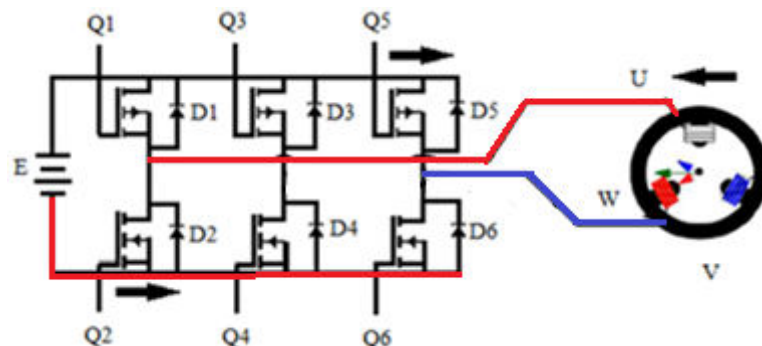
Pada konfigurasi *H-Bridge MOSFET* terhadap perubahan komutasi Motor *BLDC* step 1. Phasa U dihubungkan ke kutub positif baterai aki pada bus Motor *BLDC* melalui (Q2), lalu phasa V dihubungkan ke netral ground melalui (Q3), untuk phasa W tidak diberikan sinyal. 2 buah vektor fluks dihasilkan oleh phasa U (panah merah) dan phasa V (panah biru). Jumlah dari kedua vektor tersebut menghasilkan vektor fluks pada stator (panah hijau) dimana rotor akan berusaha mengikuti arah fluks stator tersebut. Pada kondisi ini motor sedang *standby* untuk berputar, ketika posisi rotor sudah mencapai posisi tertentu yang diberikan. Pada

Gambar 2.17 merupakan konfigurasi dengan metode *H-Bridge MOSFET* terhadap perubahan komutasi Motor *BLDC* step 1.



Gambar 2.17 Konfigurasi *H-Bridge MOSFET* Terhadap Perubahan Komutasi Motor *BLDC* Berlawanan Arah Jarum Jam Step 1
(Ridhwan, Taufiq.Pergerakan Daya Motor *BLDC* 350W/48V.pdf.2012)

Pada **Gambar 2.18** merupakan Konfigurasi dengan metode *H-Bridge MOSFET* terhadap perubahan komutasi Motor *BLDC* step 2.

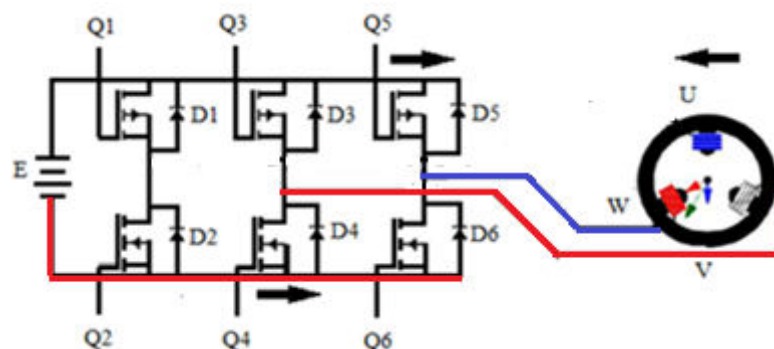


Gambar 2.18 Konfigurasi *H-Bridge MOSFET* Terhadap Perubahan Komutasi Motor *BLDC* Berlawanan Arah Jarum Jam Step 2
(Ridhwan, Taufiq.Pergerakan Daya Motor *BLDC* 350W/48V.pdf.2012)

Pada konfigurasi *H-Bridge MOSFET* terhadap perubahan komutasi Motor *BLDC* step 2. Tahapan dari step 2 ini sama seperti step 1 tapi, pada step ini fasa V sekarang tidak diberikan sinyal tetapi fasa W yang sekarang terhubung ke netral ground (Q5), dan pada fasa U tetap di posisi terhubung ke positif melalui (Q2). 2 buah vektor fluks dihasilkan oleh fasa U (Panah merah) dan fasa W (Panah biru) dimana posisi vektor fluks stator (Panah hijau). Pada kondisi ini

menghasilkan pola tegangan baru tercipta dari Motor *BLDC* dan rotor akan berusaha mengikuti arah fluks stator tersebut.

Pada **Gambar 2.19** merupakan konfigurasi dengan metode *H-Bridge MOSFET* terhadap perubahan komutasi Motor *BLDC* step 3.

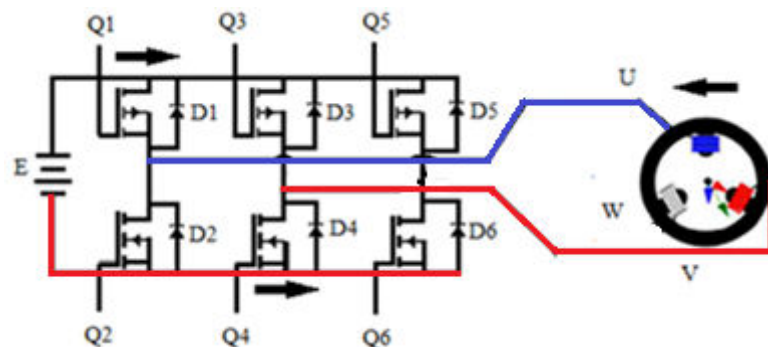


Gambar 2.19 Konfigurasi *H-Bridge MOSFET* Terhadap Perubahan Komutasi Motor *BLDC* Berlawanan Arah Jarum Jam Step 3
(Ridhwan, Taufiq. Pergerakan Daya Motor *BLDC* 350W/48V. pdf. 2012)

Pada konfigurasi *H-Bridge MOSFET* terhadap perubahan komutasi Motor *BLDC* step 3. Pada step ini fasa yang aktif adalah V-W yang artinya fasa V (Panah biru) terhubung ke kutub positif melalui (Q4) dan fasa W (Panah merah) terhubung ke netral ground melalui (Q5) sedangkan fasa U tidak diberikan sinyal sehingga posisi vektor fluks stator berada pada posisi tersebut (Panah hijau). Pada kondisi ini untuk menentukan *switch* (Q) mana saja yang aktif ketika fasa tertentu yang akan diberikan sinyal sehingga arah putaran rotor dapat terlihat dan rotor akan berusaha mengikuti arah fluks stator tersebut (Panah hijau).

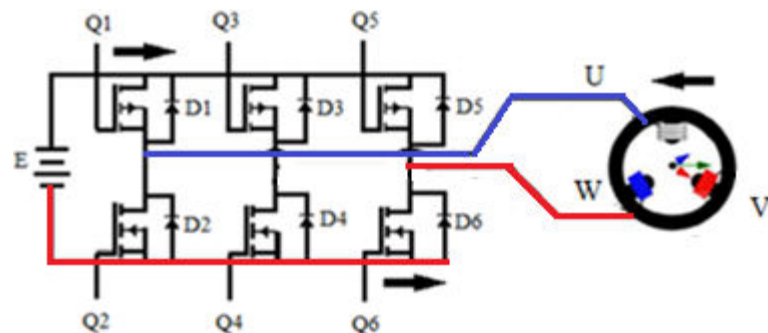
Pada konfigurasi *H-Bridge MOSFET* terhadap perubahan komutasi Motor *BLDC* step 4. Step ini fasa yang aktif adalah V-U yang artinya fasa V (Panah merah) tetap terhubung ke kutub positif melalui (Q4) dan fasa U (Panah biru) terhubung ke netral ground melalui (Q1) sedangkan fasa W tidak diberikan sinyal sehingga, rotor terus berputar ke arah fluks stator (Panah hijau).

Pada **Gambar 2.20** merupakan konfigurasi dengan metode *H-Bridge MOSFET* terhadap perubahan komutasi Motor *BLDC* step 4.



Gambar 2.20 Konfigurasi *H-Bridge MOSFET* Terhadap Perubahan Komutasi Motor *BLDC* Berlawanan Arah Jarum Jam Step 4 (Ridhwan, Taufiq, Pergerakan Daya Motor *BLDC* 350W/48V.pdf.2012)

Pada **Gambar 2.21** merupakan konfigurasi dengan metode *H-Bridge MOSFET* terhadap perubahan komutasi Motor *BLDC* step 5.

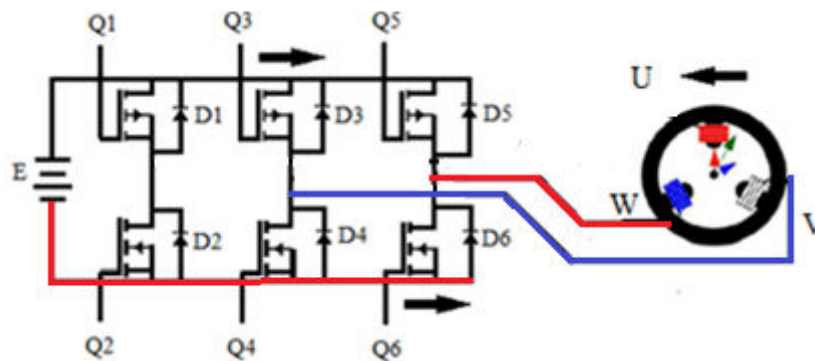


Gambar 2.21 Konfigurasi *H-Bridge MOSFET* Terhadap Perubahan Komutasi Motor *BLDC* Berlawanan Arah Jarum Jam Step 5 (Ridhwan, Taufiq, Pergerakan Daya Motor *BLDC* 350W/48V.pdf.2012)

Pada konfigurasi *H-Bridge MOSFET* terhadap perubahan komutasi Motor *BLDC* step 5, fasa yang diaktifkan adalah fasa W-U yang artinya fasa W (Panah merah) terhubung ke kutub positif melalui (Q6) dan fasa U (Panah biru) terhubung ke netral ground melalui (Q1) sedangkan fasa V tidak diberikan sinyal sehingga arah putaran rotor terus mengikuti arah vector fluks stator yang dihasilkan (Panah hijau).

Pada **Gambar 2.22** merupakan konfigurasi dengan metode *H-Bridge MOSFET* terhadap perubahan komutasi Motor *BLDC* step 6. Pada step 6, terjadi proses yang sama dengan step-step sebelumnya, fasa yang diaktifkan adalah W-V yang artinya fasa W (Panah merah) terhubung ke kutub positif melalui

(Q6) dan fasa V (Panah biru) terhubung ke netral ground melalui (Q3) sedangkan fasa U tidak diberikan sinyal dan selanjutnya proses putaran kembali lagi ke step 1 (Panah hijau).



Gambar 2.22 Konfigurasi *H-Bridge MOSFET* Terhadap Perubahan Komutasi Motor *BLDC* Berlawanan Arah Jarum Jam Step 6 (Ridhwan, Taufiq. Pergerakan Daya Motor *BLDC* 350W/48V. pdf. 2012)

Itulah 6 langkah (step) putaran elektrik motor *BLDC* untuk melakukan 1 putaran penuh mekanis motor *BLDC*. Pada **Tabel 2.3** dibawah ini merupakan konfigurasi metode *H-Bridge MOSFET* terhadap perubahan komutasi Motor *BLDC* setiap step pada pengaturan Motor *BLDC* berlawanan arah jarum jam.

Tabel 2.3 Konfigurasi Metode *H-Bridge MOSFET* Terhadap Perubahan Komutasi Motor *BLDC* Setiap Step Pada Pengaturan Berlawanan Arah Jarum Jam

Step	Fasa	Switches	Sudut (Derajat)
Step 1	U-V	Q2:Q3	0
Step 2	U-W	Q2:Q5	60
Step 3	V-W	Q4:Q5	120
Step 4	V-U	Q4:Q1	180
Step 5	W-U	Q6:Q1	240
Step 6	W-V	Q6:Q3	360

Dari **Tabel 2.2** dan **2.3** dihasilkan sudut-sudut yang berbeda pada setiap konfigurasi metode *H-Bridge MOSFET* terhadap perubahan komutasi motor *BLDC* setiap step. Sudut-sudut yang dihasilkan tersebut didapat dari rumus teori perhitungan daya yang digunakan, sebagai berikut :

$$P = V \times I \dots\dots\dots(1)$$

$$P = V \times I \times \sqrt{3} \times \text{Cos } \alpha \dots\dots\dots(2)$$

$$P = V \times I \times \sqrt{3} \times (\cos \alpha - \text{Step 2, - Step 3, - Step 4, - Step 5}) \dots (3)$$

Keterangan :

P = Daya/Power (Watt)

V = Tegangan (Volt)

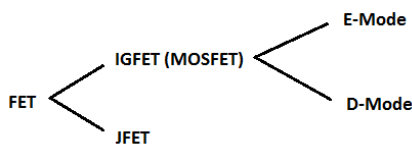
I = Arus (Ampere)

Kecepatan putaran Motor *BLDC* dikendalikan oleh persentasi *duty cycle* pulsa *PWM* dari masukan yang diberikan ke jalur input *speed* dari rangkaian *Controller 350W/48V*.

(Blocher, Richard, Dasar Elektronika.Vol.1.No.143-145.1998)

2.6.2.2 MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*)

MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) adalah suatu transistor dari bahan semikonduktor (silikon) dengan tingkat konsentrasi ketidak murnian tertentu. Tingkat dari ketidak murnian ini akan menentukan jenis transistor tersebut, yaitu transistor *MOSFET* tipe-N (*NMOS*) dan transistor *MOSFET* tipe-P (*PMOS*). Bahan silicon digunakan sebagai landasan (*substrat*) dari penguras (*drain*) sebagai *Output*, sumber (*source*), dan gerbang (*gate*) sebagai *Input*. Selanjutnya, transistor dibuat sedemikian rupa agar antara *substrat* dan gerbangnya dibatasi oleh oksida silikon yang sangat tipis. Oksida ini diendapkan di atas sisi kiri dari kanal, sehingga transistor *MOSFET* akan mempunyai kelebihan dibanding dengan transistor *BJT (Bipolar Junction Transistor)*, yaitu menghasilkan disipasi daya yang rendah. Pada **Gambar 2.23** menunjukkan klasifikasi *FET*.



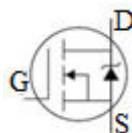
Gambar 2.23 Klasifikasi FET

(Blocher, Richard, Dasar Elektronika.Vol.1. No.189.1998)

MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) juga merupakan salah satu jenis *FET (field effect transistor)* atau transistor efek medan,

yang jauh berbeda dengan *JFET* (*junction field effect*) dan *IGBT* (*insulated gate bipolar transistor*). *FET* adalah medan listrik dan bukan arus, maka pada sambungan pengendalian (dalam transistor biasa yang dibentuk oleh basis) tidak ada arus, tetapi hanya dibutuhkan voltase tertentu. Supaya tidak ada arus yang mengalir pada sambungan pengendali, maka sambungan tersebut harus diisolasi terhadap saluran. Terdapat tiga jenis isolasi, yaitu isolasi oleh sambungan P-N yang dibias balik, isolasi oleh isolator (paling sering oksida logam) dan isolasi oleh sambungan logam semikonduktor yang dibias balik.

MOSFET memiliki 3 atau 4 buah kaki konduktor bisa dilihat pada **Gambar 2.24** lambang *MOSFET* yaitu kaki pertama atau ujung atas dinamakan drain, kaki kedua ujung bawah dinamakan source, dan kaki ketiga dinamakan gate. Gate biasanya memiliki 1 atau dua buah kaki. Pada kedua sisi kiri dan kanan terdapat implant semikonduktor yang berbeda tipe bahan. Terminal kedua sisi implant ini terhubung satu dengan yang lainnya secara internal dan dinamakan gate. Yang membedakan *MOSFET* dengan FET-FET lainnya terletak pada gate, karena gate pada *MOSFET* diisolasi oleh bahan metal oksida. *Gate* sendiri terbuat dari bahan metal seperti aluminium. Oleh karena itulah, transistor efek medan ini dinamakan *metal oxide semiconductor*.



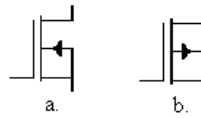
Gambar 2.24 Lambang *MOSFET*
(Blocher, Richard, Dasar Elektronika. Vol.1. No.189.1998)

Bila dilihat dari cara kerjanya, transistor *MOSFET* dibagi menjadi dua, yaitu:

- Transistor Mode Pengosongan (*Transistor Mode Depletion*)

Transistor *MOSFET* mode pengosongan terdiri dari tipe-N dan tipe-P, simbol transistor ditunjukkan dalam **Gambar 2.25**. Pada *transistor mode depletion* (**Gambar 2.25**), antara *drain* dan *source* terdapat saluran yang menghubungkan dua terminal tersebut, dimana saluran tersebut mempunyai fungsi

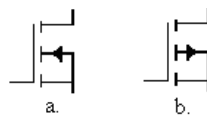
sebagai saluran tempat mengalirnya elektron bebas. Lebar dari saluran itu sendiri dapat dikendalikan oleh tegangan gerbang (G).



Gambar 2.25 Simbol Transistor *MOSFET Mode Depletion*
 (a). *N-Channel Depletion*
 (b). *P-Channel Depletion*
 (Blocher, Richard, Dasar Elektronika. Vol.1.No.189.1998)

- Transistor Mode Peningkatan (*Transistor Mode Enhancement*)

Transistor *MOSFET* mode peningkatan terdiri dari tipe-N dan tipe-P, simbol transistor ditunjukkan dalam **Gambar 2.26**.



Gambar 2.26 Simbol Transistor *MOSFET Mode Enhancement*
 (a). *N-Channel Enhancement*
 (b). *P-Channel Enhancement*
 (Blocher, Richard, Dasar Elektronika. Vol.1.No.189.1998)

Transistor mode enhancement ini pada fisiknya tidak memiliki saluran antara *drain* dan *source*-nya karena lapisan *bulk* meluas dengan lapisan pada terminal *gate*.

Dilihat dari jenis saluran yang digunakan, transistor *MOSFET* dapat dikelompokkan menjadi tiga, antara lain:

- *NMOS*

Transistor *NMOS* terbuat dari substrat dasar tipe P dengan daerah *source* dan *drain* didifusikan tipe N+ dan daerah kanal terbentuk pada *NMOS* jenis *enhancement*, dimana pada jenis ini *source NMOS* sebagian besar akan dihubungkan dengan $-V_{ss}$ mengingat struktur dari *MOS* itu sendiri hampir tidak memungkinkan untuk dihubungkan dengan $+V_{dd}$. Dalam aplikasi gerbang *NMOS* dapat dikombinasikan dengan resistor, *PMOS*, atau dengan *NMOS* lainnya sesuai dengan karakteristik gerbang yang akan dibuat. Sebagai contoh

sebuah *NMOS* dan resistor digabungkan menjadi sebuah gerbang NOT. *Negatif MOS* adalah *MOSFET* yang mengalirkan arus sumber menggunakan saluran dari bahan elektron, sehingga arus yang mengalir jika tegangan gerbang lebih positif dari substrat dan nilai mutlaknya lebih besar dari V_T (*Voltage Treshold*).

- *PMOS*

Transistor *PMOS* terbuat dari substrat dasar tipe-N dengan daerah *source* dan *drain* didifusikan tipe P+ dan daerah kanal terbentuk pada permukaan tipe P. *Positif MOS* adalah *MOSFET* yang mengalirkan arus penguras sumber melalui saluran positif berupa *hole*, dimana arus akan mengalir jika tegangan gerbang lebih negatif terhadap substrat dan nilai mutlaknya lebih besar dari V_T . *PMOS* yang umumnya banyak digunakan adalah *PMOS* jenis *enhancement*, dimana pada jenis ini *source PMOS* sebagian besar akan dihubungkan dengan +Vdd mengingat struktur dari *MOS* itu sendiri hampir tidak memungkinkan untuk dihubungkan dengan -Vss.

- *CMOS (Complementary MOS)*

MOSFET tipe *complementary* ini mengalirkan arus penguras sumber melalui saluran tipe-N dan tipe-P secara bergantian sesuai dengan tegangan yang dimasukkan pada gerbangnya (*gate*).

2.6.2.3 Spesifikasi *MOSFET*

Spesifikasi *MOSFET* yang perlu diperhatikan dalam melakukan pemilihan jenis *MOSFET* yang tepat untuk diterapkan pada rangkaian. Spesifikasi yang harus diperhatikan pada *MOSFET* adalah sebagai berikut:

- V_{DS} , yaitu nilai kemampuan tegangan pada *MOSFET* untuk menerima tegangan *drain to source* atau tegangan keluaran.
- I_{DS} , yaitu nilai kemampuan arus pada *MOSFET* untuk mengalirkan arus keluaran.
- V_{GS} , yaitu nilai kemampuan tegangan pada *MOSFET* untuk menerima tegangan *gate to source* atau tegangan masukan.
- R_{DS} , yaitu nilai kemampuan resistansi pada *MOSFET* yang biasa didefinisikan hasil perbandingan kerja antara V_{DS} dengan I_D , dan berfungsi untuk mengurangi daya yang terbuang melalui disipasi panas.

- PD, yaitu kemampuan pada *MOSFET* dalam menampung disipasi daya.
- t seperti t_d (*on*), t_d (*off*), t_r , t_f , yaitu elemen-elemen *switching time* pada *MOSFET* atau kemampuan kecepatan *MOSFET* untuk melakukan penyakelaran, dan biasanya pada *MOSFET-MOSFET* daya memiliki kemampuan untuk penyakelaran sampai sekian nano detik (ns).

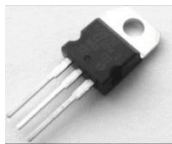
2.6.2.4 Keunggulan *MOSFET*

Pemilihan komponen FET (*Field Effect Transistor*) dengan menggunakan *MOSFET* yang memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan FET jenis lainnya, yaitu :

- Terminal gate *MOSFET* secara elektrik terisolasi dari sumber oleh lapisan oksida, sehingga *MOSFET* mempunyai impedansi masukan yang sangat tinggi, sehingga tidak akan membebani rangkaian sebelumnya dan tidak memerlukan rangkaian driver yang rumit untuk terminal gate.
- Kecepatan *switching* sangat tinggi, dalam orde nano detik, sehingga rugi-rugi akibat aksi *switching* dapat dibuat sekecil mungkin.
- Sangat cocok digunakan untuk aplikasi rangkaian yang menggunakan tegangan rendah.
- *MOSFET* tidak memerlukan *interface* berupa rangkaian *buffer* apabila dihubungkan dengan rangkaian logika.

2.6.2.5 *MOSFET* P75NF75

Pada *Controller* 48V/350W digunakan *MOSFET* type P75NF75 berjumlah 6 buah *MOSFET*. *MOSFET* ini digunakan karena terminal atau elektroda gerbangnya adalah sepotong logam yang permukaannya dioksidasi. Lapisan oksidasi ini berfungsi untuk menghambat hubungan listrik antara terminal gerbang dengan Salurannya. Oleh karena itu, *MOSFET* sering juga disebut dengan nama *Insulated-Gate FET (IGFET)*. Karena lapisan oksidasi ini bertindak sebagai dielektrik, maka pada dasarnya tidak akan terjadi aliran arus antara gerbang dan saluran. Dengan demikian, Impedansi Input pada *MOSFET* menjadi sangat tinggi dan jauh melebihi Impedansi Input pada *JFET*. Berikut pada **Gambar 2.27** merupakan jenis transistor *MOSFET* type P75NF75.

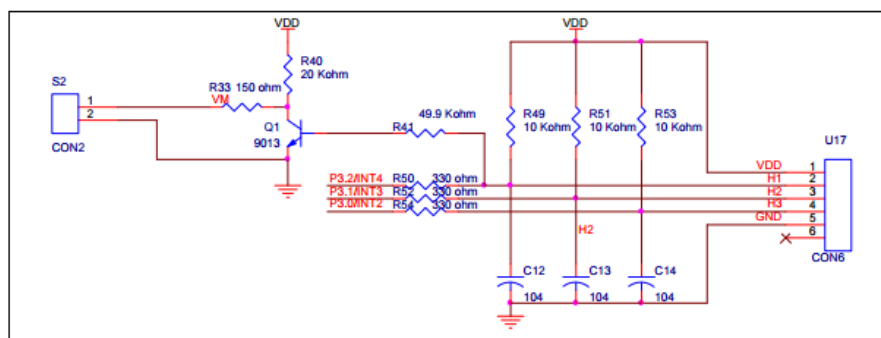


Gambar 2.27 Transistor *MOSFET* type P75NF75
(<https://indonesian.transistor-p75nf75.html>.2015)

MOSFET P75NF75 merupakan jenis transistor yang memiliki kapasitas arus maksimal 75 A dan tegangan maksimal 75 V, dengan kapasitas arus tersebut *MOSFET* jenis ini sangat dibutuhkan pada kendaraan listrik terutama pada *Controller* sepeda listrik, mobil listrik dan lain-lain, khususnya alat kursi roda elektrik yang dibuat, karena transistor *MOSFET* type P75NF75 ini mampu jika dialirkan arus maksimal 30-50 A dan sesuai dengan penggunaan power yaitu 350W-1500W. Seperti yang telah dijelaskan bahwa *MOSFET* memiliki lapisan oksidasi yang berfungsi untuk menghambat hubungan listrik antara terminal gerbang dengan Salurannya. Jadi, *MOSFET* ini dapat menghambat listrik yang masuk baik itu tegangan tinggi maupun tegangan rendah. jadi, *MOSFET* dipilih karena transistor ini terkenal karena kesanggupan dilalui arus yang relatif besar jika dibandingkan dengan transistor lain, serta memiliki daya disipasi yang kecil. (http://alltransistors.com/pdfdatasheet_st/stb75nf75.pdf.2016)

2.6.3 *Input Hall Sensor*

Pada **Gambar 2.28** merupakan skema rangkaian dari *Input Hall Sensor* pada *Controller* 350W/48V.



Gambar 2.28 Skema Rangkaian *Input Hall Sensor*
(<http://www.electricisart-bogipower.com>.2014.html)

Prinsip kerja *sensor hall* sendiri membutuhkan arus yang mengalir terus, sebagai pendeteksi fluks magnet. Sistem ini hanya dilengkapi resistor dan kapasitor untuk peredaman data *draw*. Pada kolom nilai *sensor hall*, nilai tersebut berasal dari motor *Brushless DC*.

2.6.4 Spesifikasi Controller 350W/48V

Spesifikasi *Controller 350W/48V* sebagai berikut,

- Daya = 350W
- Tegangan = 36V dan 48V
- Jenis FET = *MOSFET P75NF75*
- Jumlah FET = 6 FET
- Ampere = 16A
- Fitur lain = E-brake, alarm controll, speedometer digital
- Input trottle = 1,2V sampai 4,2V
- Derajat motor = 120
- Fitur
 - a. *Sensor hall BLDC Controller, dual mode.*
 - b. *Low level brake*
 - c. level Pembatas kecepatan, 80%, 100% dan 120%
 - d. Pedal Assist Sensor
 - e. 3 speed limiter
 - f. Indicator battery
 - g. kalibrasi *self study*, (normal foward dan normal backward)
 - h. Switch maju-mundur dapat berfungsi normal di motor 60 derajat (ex:dinamo TIGER).

Keterangan kabel-kabel warna yang terdapat pada *Controller 48V/350W*, sebagai berikut :

- a. Kabel *Power*.
Kabel merah besar, kabel hitam besar, dan kabel merah kecil.
- b. Kabel 3 *phase* Motor.

Kabel biru besar (V), kabel hijau besar (W), dan kabel kuning besar (U). Ketiga kabel masing-masing tersebut terhubung ke Motor.

c. Kabel *Hall Sensor*. (Socket 6 isi 5)

Kabel merah (+5V), kabel hitam (-), kabel kuning (U), kabel biru (W), dan kabel hijau (V). Dihubungkan dengan 5 kabel *Hall Sensor* dari motor.

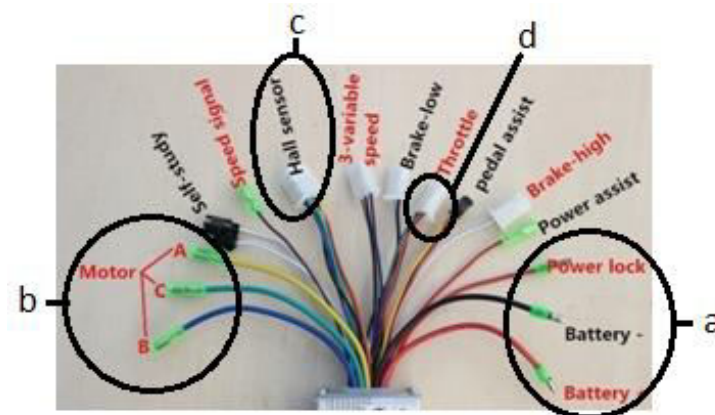
d. *Throttle handle gas*. (Socket isi 3)

Kabel merah (+5V), kabel hitam(-), dan kabel abu-abu.

e. Fitur-fitur pelengkap *Driver Motor/Controller 350W/48V*.

- *Break-Low* (Socket isi 2) : Kabel hijau dan kabel hitam Untuk rem.
- *Self-Study* : 2 kabel putih. Sebagai kalibrasi arah putaran.
- *Speed Signal* : Kabel coklat. Sebagai penampil kecepatan motor
- *Pedal Assist* : Kabel merah, dan kuning. Sebagai arah putaran berlawanan arah jarum jam.

Pada **Gambar 2.29** menunjukkan keterangan masing-masing fungsi kabel-kabel warna tersebut,



Gambar 2.29 Nama-nama Kabel Pada *Controller 48V/350W*
(<http://www.electricisart-bogipower.com.2014.html>)

2.7 Motor *BLDC* (*Brush Less Direct Current Motor*)

2.7.1 Pengertian Motor *BLDC* (*Brush Less Direct Current Motor*)

Pada teknologi 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, keandalan

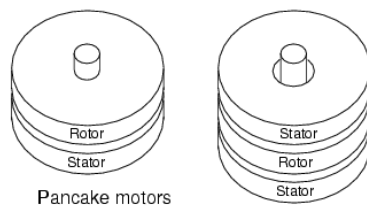
yang tinggi dan perawatan yang rendah. Motor *Brushless DC* adalah salah satu jenis motor sinkron magnet permanen yang disuplai oleh sumber listrik DC pada kontrolnya, dan membutuhkan sumber listrik AC tiga fasa untuk menggerakkan bagian rotor motornya. Sumber listrik AC tiga fasa dibutuhkan karena motor sinkron magnet permanen ini memiliki 3 buah koil pada stator, kemudian hubungan antara koil dan belitan stator trapezoidal akan memberikan *electro motiveback trapezoidal* (gaya gerak listrik balik trapezoidal) yaitu tegangan balik yang dihasilkan oleh belitan motor *Brushless DC* yang akan menggerakkan rotor. Pergerakan pada rotor ini disebabkan oleh medan magnet pada stator yang pada setiap saatnya hanya dua fasa yang tersuplai sementara satu fasa lainnya tak tersuplai. 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. Motor *Brushless DC* ini menggunakan sistem komutasi elektrik atau sering disebut *electronically comutated* motor. Pada **Gambar 2.30** merupakan bentuk dari motor *BLDC*.



Gambar 2.30 Motor *Brushless DC*
(<http://Motor-BLDC-350w.html>.2015)

Sistem komutasi elektrik ini diartikan sebagai fungsi dari *switch electronic*. Komutator elektronik ini terdiri dari kombinasi transistor atau biasanya menggunakan *MOSFET* atau *IGBT* yang membutuhkan sinyal atau pulsa penyalan, dan dapat mengaktifkan koil dengan waktu yang tepat sehingga dapat menggerakkan motor.

Motor *DC Brushless* terdiri dari 3 jenis motor berdasarkan banyaknya fasa, antara lain Motor *DC Brushless* 1 fasa, 2 fasa, dan 3 fasa. Mengacu pada jenisnya, stator pada Motor *DC Brushless* memiliki jumlah yang sama dengan belitannya.

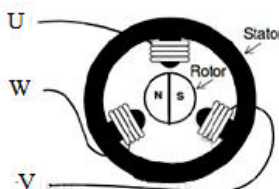


Gambar 2.31 Motor *Brushless DC*

- (a) 1 fasa,
- (b) 2 fasa

(Ridhwan, Taufiq. *Pergerakan Daya Motor BLDC 350W/48V.*,2012.pdf)

Motor *DC Brushless* yang sering digunakan adalah Motor *DC Brushless* 3 fasa. Untuk **Gambar** motor *BLDC* 1 fasa dan 2 fasa dapat dilihat pada **Gambar 2.31**, sedangkan untuk motor *BLDC* 3 fasa dapat dilihat pada **Gambar 2.32**.



Gambar 2.32 Motor *Brushless DC* 3 fasa

(Ridhwan, Taufiq. *Pergerakan Daya Motor BLDC 350W/48V.pdf.*2012)

Pada laporan akhir ini, Motor *Brushless DC* menggunakan tegangan 48 Volt dengan daya 350 Watt, tegangan 48 V dan *power* 350 W tersebut sesuai dengan kebutuhan beban maksimal yang diangkut dan kecepatan maksimal motor itu sendiri tergantung dari beban yang diangkut. Berikut rumus teori perhitungan daya yang digunakan :

$$P = \frac{T \times N}{9,55} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

P = Daya/Power (Watt)

T = Berat Beban (Kg)

N = Kecepatan sesuai data sheet motor yang digunakan (Km/jam)

Menurut teori rumus daya tersebut, dari motor *BLDC* 48V/350W akan didapat hasil untuk mengetahui kebutuhan yang digunakan.

2.7.2 Bagian Motor *BLDC* (*Brush Less Direct Current Motor*)

2.7.2.1 *Stator*

Stator merupakan bagian yang diam atau bersifat statis pada motor, yang berfungsi sebagai medan putar motor untuk memberikan gaya elektromagnetik pada rotor sehingga motor dapat berputar. Pada motor *Brushless DC* statornya terdiri dari 12 belitan (Elektromagnet) yang bekerja secara elektromagnetik dimana stator pada motor *Brushless DC* ini terhubung dengan tiga buah kabel yang masing-masing mewakili fasa untuk disambungkan pada rangkaian control. Lilitan stator pada motor *Brushless DC* terdiri dua jenis, yaitu lilitan stator jenis sinusoidal dan lilitan stator jenis trapezoidal. Pada **Gambar 2.33** merupakan stator pada motor *Brushless DC*.



Gambar 2.33 *Stator* Pada Motor *Brushless DC*
(Ridhwan, Taufiq. Pergerakan Daya Motor *BLDC* 350W/48V.pdf.2012)

Adapun yang menjadi dasar perbedaan kedua jenis lilitan tersebut terletak pada hubungan antara koil dan lilitan stator yang bertujuan untuk memberikan EMF (*Electro Motive Force*) atau gaya gerak listrik yang berbeda. EMF balik atau gaya gerak listrik balik itu sendiri adalah tegangan balik yang dihasilkan oleh lilitan motor *BLDC* ketika motor *BLDC* tersebut berputar yang memiliki polaritas tegangan berlawanan arahnya dengan tegangan sumber yang dibangkitkan.

Perubahan besarnya EMF balik ini mempengaruhi torsi motor *Brushless DC*, apabila kecepatan motor yang dihasilkan melebihi kecepatan rata-rata, maka akan mengakibatkan EMF balik yang dihasilkan oleh motor lebih besar dari pada tegangan potensial pada lilitan stator sehingga, arus yang mengalir pada stator akan turun dan torsi pun menjadi ikut turun pula. Karena berbanding lurus dengan

faktor-faktor lain yang mempengaruhi torsi maka kenaikan dan penurunan arus sangat berpengaruh pada besarnya torsi yang dihasilkan motor *Brushless DC*.

2.7.2.2 Rotor

Pada **Gambar 2.34** merupakan *Rotor Motor BLDC*, *Rotor* merupakan bagian pada motor *Brushless DC* yang berfungsi untuk menggerakkan atau membuat motor berputar. Perputaran tersebut terjadi akibat adanya gaya elektromagnetik yang dihasilkan oleh *stator*.



Gambar 2.34 *Rotor Motor Brushless DC*
(Ridhwan, Taufiq.Pergerakan Daya Motor *BLDC* 350W/48V.,2012.pdf)

Rotor pada motor *Brushless DC* berbeda dengan *rotor* pada Motor *DC* konvensional. Pada motor *Brushless DC* bagian *rotornya* tersusun dari 2 hingga 8 pasang kutub magnet permanen berbentuk persegi panjang yang saling direkatkan menggunakan semacam “*epoxy*” dan tidak memiliki sikat.

2.7.2.3 Axle

Pada **Gambar 2.35** dibawah ini merupakan bentuk *Axle* motor *Brushless DC*.

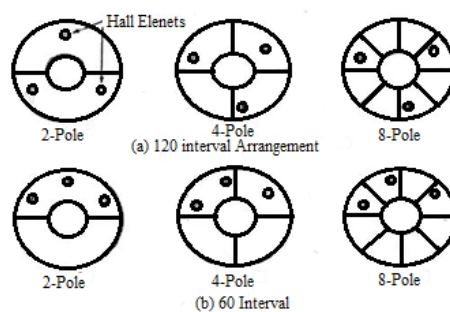


Gambar 2.35 *Axle Motor Brushless DC*
(Ridhwan, Taufiq.Pergerakan Daya Motor *BLDC* 350W/48V.pdf.2012)

Axle atau sumbu adalah batang yang berfungsi sebagai sumbu putar motor, terpusat pada rotor dan dirangkai bersama rotor.

2.7.2.4 Sensor Hall

Pada **Gambar 2.36** dibawah ini merupakan posisi penempatan *sensor hall* motor *Brushless DC*.



Gambar 2.36 Posisi Penempatan *Sensor Hall*

(Ridhwan, Taufiq. Pergerakan Daya Motor *BLDC* 350W/48V. pdf. 2012)

Sensor hall merupakan sensor yang berada pada motor *Brushless DC* yang berfungsi untuk memberikan *feedback* (umpan balik) pada rangkaian kontrol yang bersifat elektronik. *Sensor hall* ini ditempatkan setiap 120° pada jarak antar kutub stator. Hal ini bertujuan untuk hasil deteksi terhadap vektor fluks stator dapat akurat sehingga, setiap perpindahan komutasi membuat arus yang mengalir tetap terjaga konstan pada setiap fasa.



Gambar 2.37 *Sensor Hall*

(Ridhwan, Taufiq. Pergerakan Daya Motor *BLDC* 350W/48V. pdf. 2012)

Prinsip kerja *sensor hall* sendiri membutuhkan arus yang mengalir terus, jika dibutuhkan kerja sebagai pendeteksi fluks magnet. Pada **Gambar 2.37** merupakan *Sensor Hall* pada motor *BLDC*.

2.7.4 Kelebihan dan kekurangan Motor *BLDC* Dibandingkan Motor *Brushed DC*

Motor *Brushless DC* mampu meminimalisir kekurangan pada motor *brushed DC*. Adapun beberapa keunggulan atau kelebihan motor *Brushless DC* antara lain :

1. Jumlah elektromagnet pada stator banyak sehingga memungkinkan control yang lebih akurat.
2. Tidak akan mudah rusak pada sikat setelah lama pemakaiannya, Karena tidak memiliki sikat.
3. Pendinginan pada motor lebih mudah karena posisi elektromagnet pada stator.
4. Tidak adanya *snoring/electrical noise* yaitu suara bising akibat gesekan celah udara antara sikat dengan rotor.
5. Karena tidak memiliki sikat, dan motor *Brushless DC* bersifat komutasi elektrik, sehingga yang mengontrol perpindahan arus yaitu dengan mikrokontroler. Pada mikrokontroler juga dapat mengatur kecepatan motor, sehingga akan menjadi lebih efisien.

Sedangkan kelemahan atau kekurangan motor *brushed DC* dibandingkan dengan *Brushless DC* antara lain :

1. Motor sikat apabila terlalu sering digunakan, lama kelamaan sikatnya akan rusak.
2. Karena sikat memutus dan menghubungkan antara sistem dengan motor, maka akan menimbulkan *snoring/electrical noise*.
3. Sikat pada motor membatasi kecepatan maksimum motor.
4. Sikat juga membatasi jumlah kutub magnet yang dapat diinstalasi.
5. Pendinginan motor lebih sulit, karena posisi elektromagnet berada ditengah-tengah rotor.