TUGAS AKHIR – TM 145502

RANCANG BANGUN BLDC MOTOR CONTROLLER PADA MOBIL NOGOGENI 4 BERBASIS *MICROCONTROLLER* ARDUINO

YOUHANGGA ARJUNA SAKTI
NRP. 10211500000004

Dosen Pembimbing
DEDY ZULHIDAYAT NOOR, ST. MT. Ph.D
NIP. 19751206 200501 1 002

Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

FINAL PROJECT – TM 145502

DESIGN OF BLDC MOTOR CONTROLLER ON NOGOGENI 4 CAR BASED ON MICROCONTROLLER ARDUINO

YOUHANGGA ARJUNA SAKTI
NRP. 10211500000004

Counselor Lecturer :
DEDY ZULHIDAYAT NOOR, ST. MT. Ph.D
NIP. 19751206 200501 1 002

Industrial Mechanical Engineering Department
Faculty Of Vocational
Institut Of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN *BLDC MOTOR CONTROLLER* PADA MOBIL NOGOGENI 4 BERBASIS *MICROCONTROLLER* ARDUINO

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Ahli Madya
pada
Bidang Studi Konversi Energi
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

YOUHANGGA ARJUNA SAKTI
NRP 10211500000004

Mengetahui dan Menyetujui
Dosen pembimbing

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI

Dedy Zulhidayat Noor, ST., MT., Ph.D
NIP. 19751206 200501 1 002

SURABAYA, JULI 2018

RANCANG BANGUN *BLDC MOTOR CONTROLLER* PADA MOBIL NOGOGENI 4 BERBASIS *MICROCONTROLLER* ARDUINO

Nama Mahasiswa : Youhangga Arjuna Sakti
NRP : 10211500000004
Departemen : Teknik Mesin Industri
Dosen Pembimbing : Dedy Zulhidayat Nor, ST., MT., Ph.D

ABSTRAK

Motor BLDC merupakan motor yang sangat sering di jumpai pada kendaraan listrik. Alasannya adalah karena menghasilkan torsi yang besar. Dan sistem kerja yang sudah memakai elektronik pada komutasinya. Hal ini yang membuat pada motor BLDC tidak adanya penggunaan sikat. Sehingga mempermudah perawatan pada motor.

Pada laporan akhir ini akan membahas bagaimana cara membuat controller untuk mengatur putaran dan kecepatan motor yang dibutuhkan pada mobil Nogogeni 4. Hasil yang diperoleh yaitu data berupa gafik duty cycle, putaran motor, dan arus kerja. Berdasarkan hasil tes parsial yang dilakukan mengguakan alat ukur yaitu AVO Meter, Watt Hour Meter dan Tachometer bertujuan untuk pengambilan data, menentukan komponen serta model sebuah controller yang dirancang.

Selanjutnya akan dilakukan penelitian secara integrasi dimana controller di pasang dengan seluruh komponen mobil dengan baterai 36V 10Ah dan motor BLDC 250 Watt yang terpasang dengan sistem penggerak transmisi perbandingan sprocket 36:36 mampu berjalan dengan kecepatan rata-rata 28 km/jam dengan arus rata-rata 4,2 A.

Kata Kunci : BLDC, Nogogeni 4, duty cycle, kecepatan, arus.

DESIGN OF BLDC MOTOR CONTROLLER ON NOGOGENI 4 CAR BASED ON MICROCONTROLLER ARDUINO

Nama Mahasiswa : Youhangga Arjuna Sakti
NRP : 10211500000004
Departemen : Teknik Mesin Industri
Dosen Pembimbing : Dedy Zulhidayat Nor, ST., MT., Ph.D

ABSTRACT

BLDC motor is a motor which is very often found in electric vehicles, because it produces a large torque. The systems that already use electronics on the commutation. It makes the BLDC motor is not using brush. So it can be used to maintenance on the motor simplify.

In this final report will discuss how to make the controller to adjust the rotation and speed of the required motor in the Nogogeni 4 car. The results obtained are duty cycle chart, motor rotation, and working current. Based on the results of partial tests which is used a measuring instrument that is AVO Meter, Watt Hour Meter and Tachometer to propose of data retrieval, determine the components and models of a designed controller.

Furthermore, an integration study will be carried out where the controller is installed with all components of the car with 36V 10Ah battery and 250 Watt BLDC motor mounted with a 36:36 sprocket transmission matching system capable of running with an average speed of 28 km / hour with the average current 4,2 A.

Keywords : BLDC, Nogogeni 4, duty cycle, velocity, current.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur atas kehadirat Allah SWT Tuhan semesta alam yang telah melimpahkan segala berkat serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi mahasiswa dalam menyelesaikan pendidikan di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS yang merupakan integrasi dari semua materi yang telah diberikan selama perkulihan.

Keberhasilan penulis dalam penyusunan laporan tugas akhir ini tidak lepas dari berbagi pihak yang telah banyak memberikan bantuan, motivasi dan dukungan. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak Dedy Zulhidayat Noor, ST., MT., Ph.D Selaku Pembimbing Tugas Akhir.
2. Bapak Ir. Suhariyanto, M.Sc selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
3. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT. selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS dan sekaligus Dosen Wali.
4. Dosen Penguji Tugas Akhir yang telah memberikan kritik, saran dan masukan guna menyempurnakan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Sudarni dan Ibu Mesiyah yang selalu memberikan motivasi, nasehat dan do’a restu dalam pengerjaan tugas akhir ini.
6. Rizky Prasetyo Sudarni, Ragil Putri Anggraini, Nashwa Zahra Khatami yang selalu memberikan semangat dan dukungan bagi penulis.
7. Saudara – saudara Angkatan 2015 yang telah bersama-sama menjalani semua perjuangan dan pembelajaran di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.

8. Rekan – rekan tim Nogogeni yang telah memberikan inspirasi dalam pengerjaan tugas akhir ini.
9. Teman – teman Surabaya Big Family yang telah membantu selama diperantauan.
10. Fiya Fitrotul Mufaiddah sebagai rekan yang banyak membantu selama perkuliahan.
11. Rohman, Ath'tok, Budi, Tia, Ayub, dan Wahyu sebagai rekan tugas akhir.
12. Mas, mbak, rekan dan adik angkatan 2013, 2014, 2016 dan 2017.
13. Semua dosen dan karyawan Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
14. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, kami ucapkan terima kasih.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan tugas akhir ini masih belum sempurna, maka dari itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan oleh penulis. Akhir kata penulis berdoa agar segala bantuan yang diberikan akan mendapat balasan dan rahmat dari Allah SWT. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagaimana yang diharapkan.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**
LEMBAR PENGESAHAN ..... **v**
ABSTRAK ..... **vii**
ABSTRACT ..... **ix**
KATA PENGANTAR ..... **xi**
DAFTAR ISI ..... **xiii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xvii**
DAFTAR TABEL ..... **xix**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Manfaat 2
1.5 Batasan Masalah 2
1.6 Sistematika Penulisan 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **5**
2.1 Pengertian Motor Brushless DC 5
2.2 Prinsip Kerja Motor Brushless DC 5
2.3 Keuntungan Motor BLDC 12
2.4 Kontruksi Motor BLDC 12
2.4.1 Stator 13
2.4.2 Rotor 13
2.4.3 Hall Sensor 14
2.4.4 Controller 15

2.5 Bagian-Bagian pada BLDC Controller.....16
2.5.1 Pulse Width Modulation (PWM).....16
2.5.2 Sistem Pembagi Daya.....19
2.5.3 MOSFET Gate Driver 20
2.5.4 Microcontroller.....21
2.6 Baterai.....23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....25
3.1 Blok Diagram Sistem Kontroler Motor BLDC 25
3.2 Blok Diagram pada Pengujian Parsial 26
3.2.1 Pengambila Data Karakteristik Motor BLDC 26
3.2.2 Pengolahan Data Komutasi untuk Top and Bottom Output Driver 27
3.2.3 Perencanaan Microkontroler.....28
3.2.4 Perencanaan MOSFET Gate Driver IC IR2110 30
3.3 Alat dan Bahan 31
3.3.1 Alat yang Digunakan 32
1. AVO meter 32
2. Tachometer.....32
3. Watt Hour Meter.....33
3.3.2 Bahan yang Digunakan.....34
1. Resistor.....34
2. Dioda 35
3. Electrolit Condensator 37
4. Optocoupler 37
5. MOSFET 39
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA.....41

4.1 Pengambilan Data Karakteristik Motor 41
4.2 Kajian Study Literature 42
4.3 Perencanaan Sistim Pembagi Daya 43
4.4 Perencanaan dan pembuatan Sistim Mosfet Gate Driver 44
4.5 Perencanaan pemograman pada sistim Microcontroller menggunakan Arduino UNO 45
4.6 Pembuatan Design Wiring 46
4.7 Pembuatan PCB 47
4.8 Proses Assembly 48
4.9 Pengujian Kontroler Motor BLDC 49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 53
5.1 Kesimpulan 53
5.2 Saran 53
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN
BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Langkah Kerja Pertama Motor BLDC.....6
Gambar 2.2 Langkah Kerja Kedua Motor BLDC 7
Gambar 2.3 Langkah Kerja Ketiga Motor BLDC 8
Gambar 2.4 Langkah Kerja Keempat Motor BLDC 9
Gambar 2.5 Langkah Kerja Kelima Motor BLDC 10
Gambar 2.6 Langkah Kerja Keenam Motor BLDC 11
Gambar 2.7 Stator motor BLDC 13
Gambar 2.8 Rotor motor BLDC 13
Gambar 2.9 IC Hall sensor.....15
Gambar 2.10 Sinyal PWM 16
Gambar 2.11 Pulsa PWM pada duty cycle yang berbeda-beda ..17
Gambar 2.12 Pulsa PWM 18
Gambar 2.13 Catu daya linier sederhana 19
Gambar 2.14 MGD menggunakan IC IR2110 21
Gambar 2.15 Ruang Alamat Memori 22
Gambar 2.16 Baterai Lifepo4.....23
Gambar 3.1 Blok diagram sistem kontroler motor BLDC 25
Gambar 3.2 Flowchart Pengambilan Komutasi.....27
Gambar 3.3 Flowchart Perencanaan Top and Bottom Output Driver.....28
Gambar 3.4 Flowchart Perencanaan Microcontroller 30
Gambar 3.5 Flowchart Pengujian MOSFET Gate Driver 31
Gambar 3.6 AVO meter Digital 32
Gambar 3.7 Tachometer digital.....33

Gambar 3.8 Watt Hour Meter.....34
Gambar 3.9 Resistor. 35
Gambar 3.10 Dioda 36
Gambar 3.11 Dioda Zener 37
Gambar 3.12 Electrolit Capasitor 38
Gambar 3.13 Optocoupler 39
Gambar 3.14 MODFET.....39
Gambar 4.1 Pengambilan Data Menggunkan Alat AVO Meter..41
Gambar 4.2 Converter step down 12V. 44
Gambar 4.3 schematic wiring Mosfet Gate Driver.....45
Gambar 4.4 Software Pemograman pada Arduino Software (IDE). 46
Gambar 4.5 Pembuatan Wiring Pada Software Proteus. 47
Gambar 4.6 Layout PCB 48
Gambar 4.7 Assembly dari seluruh part yang telah dibuat.....49
Gambar 4.8 Grafik hasil Pengujian Kontroler Motor BLDC 50

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 tabel hasil pengambilan data komutasi pada motor BLDC. 42

Tabel 4.2 Tabel Hasil Dari Kajian Study Literature yang diperoleh 43

Tabel 4.3 Tabel hasil komutasi motor BLDC 43

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Kontroler Motor BLDC 50

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tim Nogogeni Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) merupakan sebuah tim riset mobil yang salah satunya memakai energi electric bateray untuk mengikuti perlombaan Shell Eco Maraton Asia (SEM-A). Perlomban tersebut merupakan perlombaan mobil hemat energi yang diadakan oleh perusahaan Shell. Sejak tahun 2016, tim Nogogeni berpartisipasi dalam kategori *Urban Concept*. Mobil Nogogeni didesain, disimulasi dan dibuat sendiri oleh mahasiswa-mahasiswa Departemen Teknik Mesin Industri ITS.

Dalam pembuatan mobil listrik hemat energi ada beberapa aspek yang penting untuk menunjang agar mampu besaing dan menjuarai kompetisi tersebut. Diantaranya stabilitas kendaraan dan berat dari kendaraan tersebut. Juga tidak melupakan beberapa aspek yang menunjang yaitu *Electric Motor, Motor Controller, Drive Train, and Aerodynamic of Body*

Motor Controller merupakan hal terpenting dalam mempengaruhi konsumsi sebuah kendaraan. Selain harus menunjang performa suatu kendaran, *motor controller* juga didesain secara efektif guna memperoleh konsumsi listrik yang hemat.

Pada proses pembuatan *controller motor*, perlu diperhatikan dalam perencanaan desain rangkaian tersebut. Pemilihan komponen yang digunakan sangat menunjang pada efisiensi kendaraan.

Pada perlombaan Shell Eco Marathon para peserta diwajibkan untuk merancang sendiri *motor controller* itu sendiri. Oleh karena itu perancangan *motor controller* dari masing-masing tim sangat mempengaruhi hasil akhir konsumsi dari kendaraan tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam proses perencanan *motor controller* Nogogeni agar efektif, maka muncul beberapa permasalahan, yaitu:

1. Bagaimana cara mengatur sistem *controller* yang digunakan sehingga motor dapat berputar ?
2. Bagaimana mengatur kecepatan putaran motor menggunakan *controller* ?
3. Berapa arus dan putaran yang dihasilkan *controller* setelah dilakukan pengujian tanpa beban serta performa yang dihasilkan *controller* dalam tes jalan ?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui sisitem yang digunakan pada *controller* sehingga motor dapat berputar.
2. Mengetahui cara pengaturan kecepatan putaran motor menggunakan *controller*.
3. Mengetaui arus dan putaran yang dihasilkan pada *controller* setelah dilakukan pengujian tanpa beban serta performa yang dihasilkan *controller* dalam tes jalan.

1.4 Manfaat

Manfaat yang didapat dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bermanfat bagi perkembangan teknologi pada pembuatan mobil listrik.
2. Dapat berkontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang kendaraan listrik.
3. Dapat digunakan sebagai refrensi untuk penelitian dan pembuatan mobil Nogogeni selanjutnya.

1.5 Batasan Masalah

Untuk mencapai tujuan perancangan dan memperoleh permasalahan yang akan dibahas, maka ditentukan batasan masalahnya yaitu :

1. Menggunakan baterai *LiFePO*$_4$ 36 V 10 AH.
2. Peritungan rangkaian tidak dibahas.
3. Menggunakan motor BLDC 250 watt.
4. Pengujian dengan metode *stand alone.*
5. Control rangkaian yang digunakan menggunakan *microcontroller* Arduino.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun untuk memerikan gambaran penjelasan mengenai bagian-bagian tugas akhir, diantaranya :

BAB I Pendahuluan

Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Membahas tentang dasar teori yang digunakan sebagai dasar perencanaan dan pemikiran dalam menyusun tugas akhir.

BAB III Metodologi Penelitian

Memahas tentang diagram alir proses perencanaan, pengujian dan pembuatan *controller motor* Nogogeni. Serta alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.

BAB IV Pengujian dan Analisa

Membahas tentang uraian perencanaan dalam pembuatan *controller motor* Nogogeni yang mencakup batasan masalah yang telah ditentukan. Serta pengujian dan anaslisa yang didapatkan pada pengujian.

BAB V	Penutup Membahas tentang kesimpulan perencanaan dan pembuatan serta saran dalam pengembangan mobil Nogogeni selanjutnya.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Motor Brushless DC

Motor arus searah adalah sebuah motor yang membutuhkan voltase searah untuk menjalankanya. Motor searah umumnya sangat mudah dalam pengoperasianya, yaitu tinggal dihubungkan dengan sumber DC sehingga motor langsung bekerja. Jenis motor ini kebanyakan menggunakan sikat. Sehingga memerlukan perawatan pada sikatnya serta banyak terjadi rugi pada sikatnya. Sehingga pengunaan motor ini sudah mulai banyak ditinggalkan. Pada era sekarang rata-rata para pengggua beralih ke pengembangan motor DC tanpa mengunakan sikat yang dikenal dengan motor BLDC (*Brushless Direct Current Motor).*

Motor BLDC termasuk golongan motor singkron. Artinya medan magnet yang dihasilkan oleh rotor dan stator berputar pada frekuensi yang sama. Tanpa adanya sikat, BLDC memiliki biaya perawatan yang rendah dan kecepatan yang dihasilkan lebih tinggi akibat tidak adanya *brush*. Motor jenis ini mempunyai mangnet permanen pada bagian rotor dan *electromagnet* pada bagian stator.

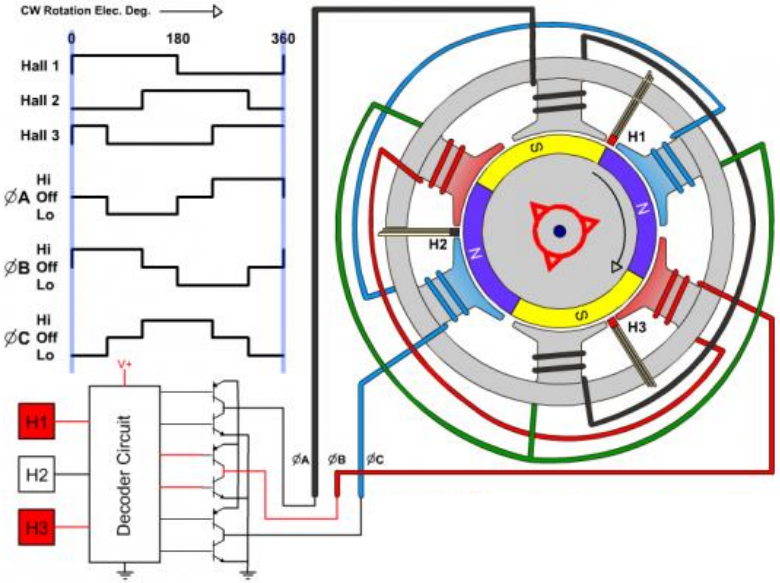
2.2 Prinsip Kerja Motor Brushless DC

Karena tidak adanya *brush* pada motor BLDC maka dibutuhkan *controller* untuk merubah arus *elektromagnet* ketika bagian rotornya berputar. Tujuan adanaya *BLDC controller* adalah membuat medan magnet putar stator untuk menarik magnet rotor. Selain itu, *BLDC controller* terdapat 3 buah *hall sensor* atau *encoder* yang berfungsi untuk menentukan *timing* komutasi yang sesuai pada motor sehingga didapat performa motor yang baik.

Pada penggunaan *hall sensor*, *timing* komutasi ditentukan secara elektronik dengan cara mendeteksi medan magnet rotor dengan menggunakan 3 buah *hall sensor* yang telah disusun. Penyusunan *hall sensor* harus sesuai dengan model kontruksi susunan magnet dan pola kumparan motor. Sehingga menghasilkan 6 konfigurasi *timing* yang berbeda. Oleh karena itu,

hall sensor dibuthkan agar dapat memberikan data atau informasi secara presisi kepada *controller* untuk mengatur lilitan mana yang harus dialiri arus listrik.

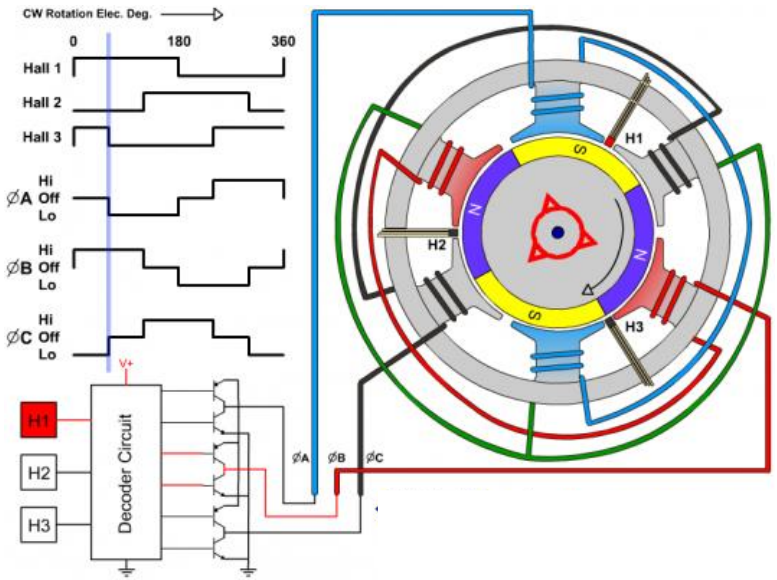
Proses kerja motor BLDC dengan menggunakan *hall sensor* dapat diketahui pada penjelasan gambar 2.1 sampai 2.6 seperti berikut.:



Gambar 2.1: Langkah Kerja Pertama Motor BLDC [1]

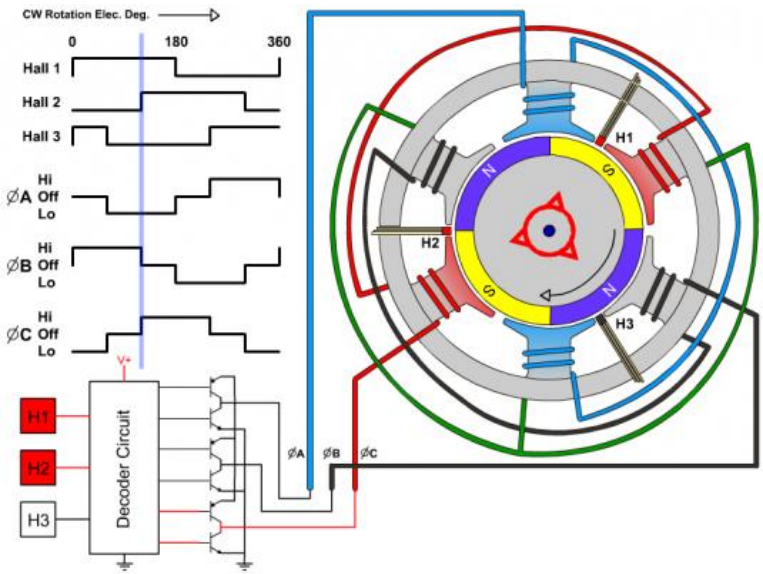
Pada gambar 2.1, *hall sensor* pada H1 dan H3 bernilai 1 (posisi on 101 atau bernilai "*high"*) karena mengalami perubahan medan magnet. Sehingga *controller* akan mengalirkan arus listrik pada kumparan B dan C. kumparan B menjadi kutub utara dan kumparan C menjadi kutub selatan. Kutub utara pada kumparan B akan memberikan gaya tolakan pada kutub utara magnet rotor,

sedangkan kutub selatan kumparan C akan menarik kutub utara magnet rotor.



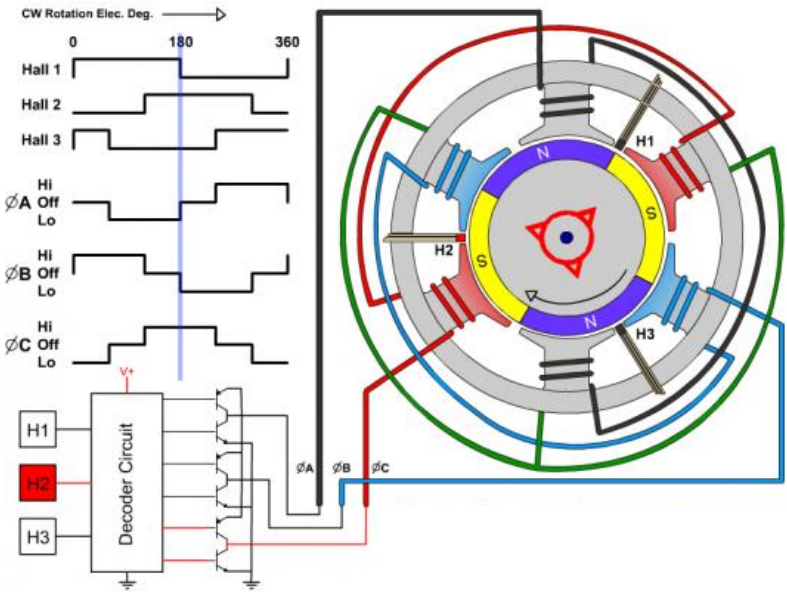
Gambar 2.2: Langkah Kerja Kedua Motor BLDC [1]

Pada gambar 2.2, hanya sensor H1 yang bernilai 1 (posisi 100), sehingga *controller* akan memberikan arus listrik pada kumparan A dan B. Kumparan A menghasilkan kutub selatan dan kumparan B tetap menghasilkan kutub utara. Kutub selatan pada kumparan A akan menolak kutub selatan pada magnet rotor. Sedangkan kutub utara kumparan B menolak kutub utara dari magnet rotor.



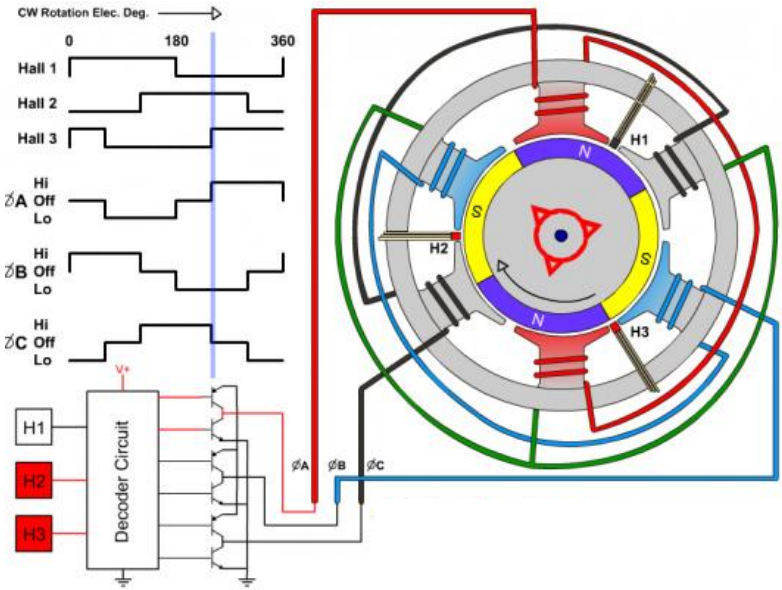
Gambar 2.3: Langkah Kerja Ketiga Motor BLDC [1]

Pada gambar 2.3, sensor H1 dan H2 akan bernilai 1 (posisi 110). Sehingga *controller* akan memberikan arus listrik pada lilitan A dan C. 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.



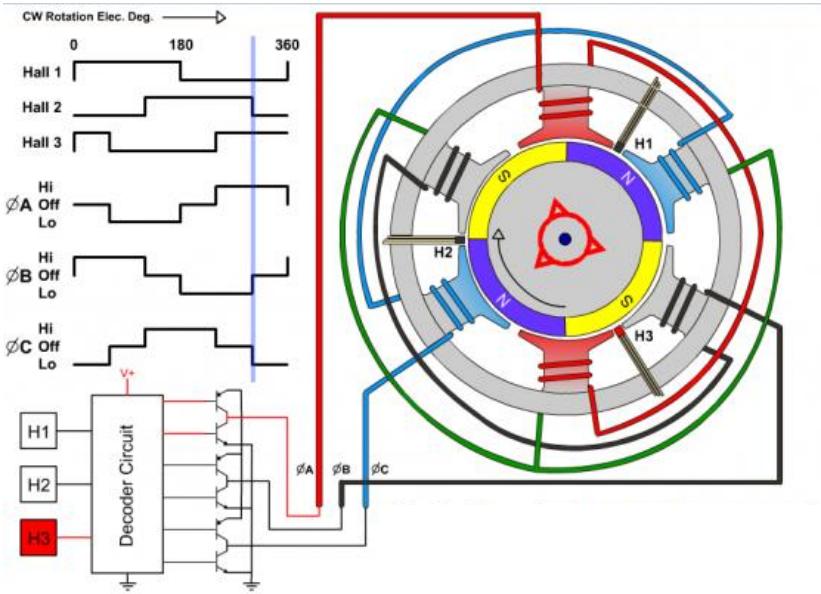
Gambar 2.4: Langkah Kerja Keempat Motor BLDC [1]

Pada gambar 2.4, hanya sensor H2 yang bernilai 1 (posisi 010). Sehingga *controller* akan memberikan arus pada lilitan B dan C. 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 2.5: Langkah Kerja Kelima Motor BLDC [1]

Pada gambar 2.5, sensor H2 dan H3 bernilai 1 (posisi 011). Sehingga *controller* akan memberikan perintah 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.



Gambar 2.6: Langkah Kerja Keenam Motor BLDC [1]

Pada gambar 2.6 atau terakhir pada siklus komutasi, hanya sensor H3 yang bernilai 1 (posisi 001). Sehingga *controller* akan memberikan perintah 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.

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

Sedangkan pada *encoder*, *timing* komutasi di hasilkan dengan menghitung jumlah pola yang ada pada *encoder*. Kebanyakan *encoder* banyak digunakan pada kontroler motor BLDC yang diperjual belikan. Keunggulan *encoder* mampu

menentukan *timing* komutasi lebih presisi dibandingkan dengan menggunakan *hall sensor*. Karena pada *encoder* bersifat *fixed* yang ditentukan dengan banyak kutub dari motor dan kode inilah yang digunakan untuk mengatur konfigurasi *timing* yang berbeda. Namun karena setiap data komutasi dari *encoder* untuk suatu motor tidak dapat digunakan untuk motor dengan jumlah kutub yang berbeda. Hal inilah yang membuat kekurangan penggunaan *encoder* jika dibandingkan dengan *hall sensor*.

2.3 Keuntungan Motor BLDC

Sama seperti kebanyakan motor lainnya, motor BLDC juga memliki beberapa keuntungan antara lain :

1. Efisiesi tinggi
   Karna tidak adanya kehilangan voltase dari cincin komutator dan brushes.
2. Hematnya biaya perawatan
   Hal ini karena brushes pada motor DC biasa sudah tidak digunakan lagi.
3. Tidak menimbulkan percikan api
   Dengan tidak adanya komutator dan brushes menyebabkan tidak adanya percikan api yang ditmbulkan pada penggunaan motor BLDC.

2.4 Kontruksi Motor BLDC

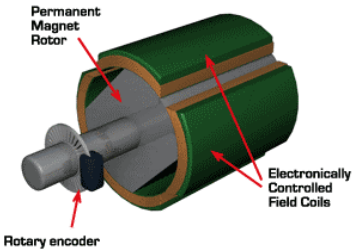
Desain kontruksi motor BLDC hampir sama dengan motor DC konvensional. Motor BLDC memilki dua bagian utama ialah rotor yaitu bagian yang berputar dan stator yaitu sebagai bagian yang diam. Bagian penting lainya dari motor adalah gulungan stator dan magnet rotor. Adapun bagian-bagian kontrusi dari motor BLDC sebagai berikut :

2.4.1 Stator

Gambar 2.7 Stator motor BLDC [1]

Stator adalah bagian yang diam dimana berfungsi sebagai medan putar motor listrik untuk memberikan gaya *elektromagnetic* pada rotor sehingga motor dapat berputar. Stator pada motor BLDC pada umumnya hampir sama dengan stator motor DC pada umumnya, hanya saja berbeda pada liliannya. Stator dibuat dari tumpukan plat yang dilaminasi dan berfungsi sebagai tempat lilitan kawat. Lilitan kawat pada motor BLDC biasanya dihubungkan dengan konfigurasi bintang atau Y.

2.4.2 Rotor



Gambar 2.8 Rotor motor BLDC [1]

Rotor adalah bagian motor yang berputar karena adanya gaya *elektromanetic* yang ditimbulkan oleh stator. Pada motor BLDC rotor disusun oleh beberapa magnet permanen yang saling direkatkan serta jumlahnya sesuai dengan desain yang diinginkan. Hal ini sangat berbeda dengan rotor motor konvensional lainnya yang hanya tersusun dari satu buah *elektromagnetic* yang berada di antara *brushes*. Jumlah kutub magnet sangat mempengaruhi dengan torsi yang dihasilkan. Semakin banyak jumlah kutub, semakin besar torsi yang dihasilkan sedangkan RPM akan motor akan turun.

Torsi juga dapat dipengaruhi dari pemilihan material dari magnet yang akan digunakan. Material yang diperlukan mempunyai sifat magnet yang bagus untuk membuat magnet permanen sehingga dapat menghasilkan fluks magnet dengan kerapatan yang tinggi. Karena pengaruh besar dan kecilnya dari densitas fluks magnet tersebut. Semakin besar fluks magnet maka akan menghasilkan torsi yang besar.

2.4.3 Hall Sensor

Pada motor BLDC sistem komutasi diatur secara elektronik karena lilitan pada stator harus dinyalakan dan dimatikan (*on-off*) secara berurutan. Sehingga dibutuhkan sensor yang mampu memberikan informasi atau data secara presisi kepada *controller* untuk mengatur lilitan mana yang akan dialiri arus listrik. *Hall sensor* adalah sebuah tranduser yang menghasilkan voltase bervariasi ketika terjadi perbedaan medan magnet. Ketika rotor berputar perubahan besar medan magnet antara magnet permanen dan gaya *elektromagnetic* dari lilitan akan dideteksi oleh *hall sensor* sebagai *input controller*. Sehingga proses komutasi pada motor BLDC akan berjalan secara berkelanjutan atau *continue*.

Gambar 2.9 IC *Hall sensor* [2].

Pada motor BLDC pemasangan *hall sensor* berbeda-beda pada setiap motornya. Model pemasangan hall sensor tergantung pada kontruksi susunan magnet dan pola kumparan motor. Pada umumnya motor BLDC memiliki pola 120 derajat. Namun dalam kenyataanya terdapat pula pola 60 derajat. Perbedaan mencolok pada keduanya terdapat pada konfigurasi komutasi. Jadi pengaturan konfigurasi komutasi pada *controller* harus sesuai dengan pola pada motor BLDC tersebut. Jika terjadi perbedaan maka *controller* dengan motor tidak saling *support* dan tidak bisa berputar.

2.4.4 Controller

Controller pada motor BLDC sangat berperan penting sebagai penunjang pada saat pengoperasiaan. Hal ini dikarenakan pada motor BLDC membutunkan sinyal berupa pulsa yang masuk ke setiap kumparan untuk dapat menimbukan medan *elektromagnetik* yang sesuai untuk memutar rotor. Fungsi inilah yang menggantikan kerja komutasi jika dibandingkan dengan motor DC konvensional.

Komponen pokok pada *controller* adalah bagian *microprosesor*. Pada bagian ini sudah harus terdapat fungsi *mendriver* mosfet sesuai urutanya. Serta mampu

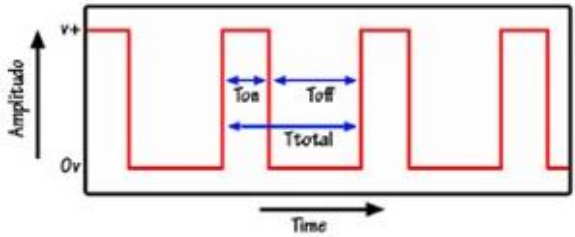
untuk memberikan pengolahan sinyal PWM sesuai input masukan pada *throttle*.

2.5 Bagian-Bagian pada BLDC Controller

Controller merupakan bagian yang penting pada motor BLDC, dimana semua indikator input diproses pada bagian ini, terdapat bagian vital didalam *controller*, sebagai berikut :

2.5.1 Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse Width Modulation (PWM) adalah sebuah cara bagaimana memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam satu perioda, untuk menghasilkan sebuah voltase rata-rata yang berbeda. Proses modulasi PWM dilakukan dengan mengubah perbandigan lebar pulsa positf terhadap lebar pulsa negatif ataupun sebalikya dalam frekuensi sinyal yang tetap. Yang artinya total 1 perioda (T) pulsa dalam PWM adalah tetap. Penamaan data PWM pada umumnya menggunakan perbandingan pulsa positif tehadap total pulsa. Terdapat beberapa contoh aplikasi PWM adalah pemodulasian data untuk telekomunikasi, *audio effect* dan penguatan, serta aplikasi PWM yang berbasis *microcontroller* antara lain pengendalian kecepatan motor DC pengaturan terang LED dan lain sebagainya.



Gambar 2.10 Sinyal PWM [3]

$T_{total} = T_{on} + T_{off}$

$D = \frac{T_{on}}{T_{total}}$

$V_{out} = D \times V_{in}$

$V_{out} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times V_{in}$

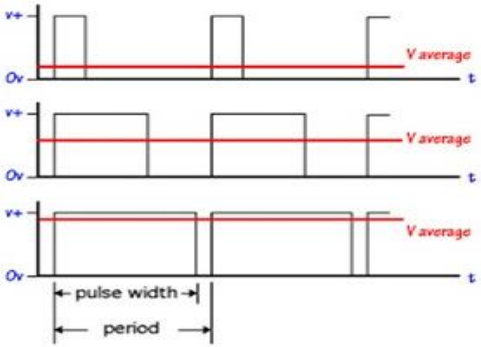
Dimana :

T_{total} = waktu pulsa "*HIGH*"

T_{total} = waktu pulsa "*LOW*"

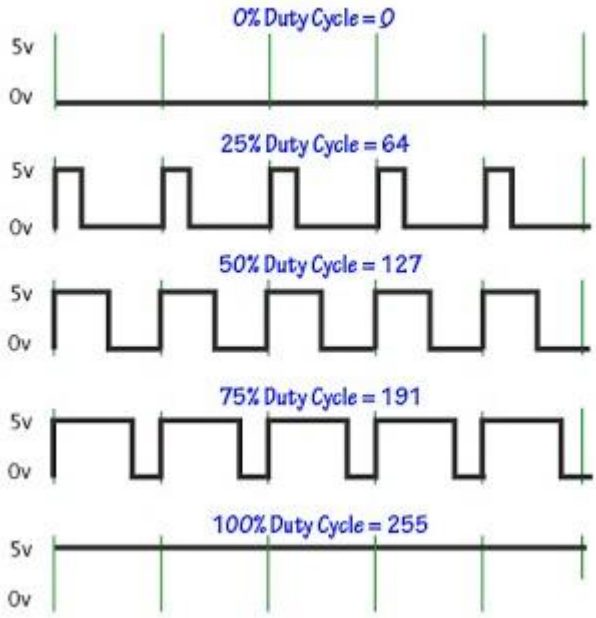
D = *Duty Cycle* adalah lamanya pulsa high dalam satu periode.

Sinyal PWM umumnya memiliki amplitudo dan frekuensi dasar yang tetap, namun memiliki lebar pulsa yang sangat bervariasi. Sedangkan lebar pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli yang belum termodulasi. Artinya, sinyal pada PWM memiliki frekuensi gelombang yang tetap namun memiliki *duty cycle* bervariasi (antara 0% hingga 100%). Dari persamaan diatas, bahwa perubahan pada *duty cycle* akan merubah voltase rata-rata seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.11 Pulsa PWM pada *duty cycle* yang berbeda-beda [3]

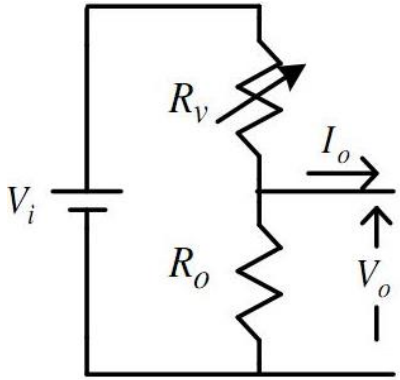
PWM merupakan salah satu teknik untuk menghasilkan sinyal anlog dari sebuah perangkat digital. Sebenarnya sinya PWM dapat dibangkitkan dengan banyak cara secara analog menggunakan IC op-amp atau secara digital. Secara analog setiap perubahan PWM dipengarui oleh pergerakan PWM itu sendiri. Pergerakan yang dimaksut adalah jumlah variasi perubahan nilai dalam PWM tersebut. Misalkan suatu PWM memilik resolusi 8 bit, berarti PWM ini memliki variasi perubahan nilai sebanyak 256 dimulai dari 0 – 255 perubahan yang mewakli *duty cycle* 0% - 100% dari output PWM tersebut.



Gambar 2.12 Pulsa PWM [3]

2.5.2 Sistem Pembagi Daya

Power supply adalah pencatu daya bagi rangkaian elektronika. Fungsi utama dari sistem pembagi daya adalah mengubah voltase sumber menjadi voltase yang dibutuhkan. Energi listrik yang berasal dari sumber utama ketika masuk ke *power supply*, maka akan dikonversi dalam bentuk sumber listrik dalam beberapa bentuk voltase dan arus yang dibutuhkan, kemudian disalurkan ke beban listrik atau komponen sehingga dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi. Sistem pembagi daya pada saat ini bekerja dalam mode pensaklaran, *switching*, dan mempunyai efisiensi yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan sistem pembagi daya linier atau catu daya linier. Salah satu komponen utama dari sistem catu daya mode pensaklaran adalah *converter* DC-DC.



Gambar 2.13 Catu daya linier sederhana [4].

Secara umum, *converter* DC-DC berfungsi untuk mengkonversi daya listrik searah (DC) ke bentuk daya

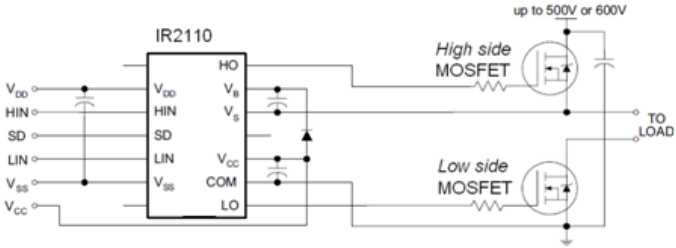
listrik DC lainnya yang terkontrol arus, voltase, atau kedua-duanya. *Converter* DC-DC bekerja seperti halnya trafo yang mengubah voltase AC tertentu ke voltase AC yang lebih tinggi atau lebih rendah. Tidak adanya peningkatan atau pengurangan daya masukan selama proses pengkonversian bentuk energi listrik. Sehingga secara ideal persamaan dayanya dapat disimpulkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_{in} = P_{out} + P_{losses}$$

Converter DC-DC dapat dibagi menjadi 2 kategori besar, yaitu yang terisolasi dan yang tak terisolasi. Isolasi yang dimaksud adalah adanya penggunaan trafo (isolasi galvanis) antara voltase masukan dan voltase output yang dihasilkan *converter* DC-DC. Secara umum *converter* DC-DC yang tak terisolasi dikenal dengan istilah direct converter sedangkan *converter* yang terisolasi dikenal dengan istilah *indirect converter*.

2.5.3 MOSFET Gate Driver

MOSFET Gate Driver (MGD) adala IC yang mempunyai input voltase kecil serta mampu membuat output voltase tinggi yang digunakan untuk mengendalikan MOSFET. Mosfet sendiri adalah komponen yang termasuk dalam golongan *switching* modern. Yang banyak digunakan sebagai *switching* utama pada rankaian *converter*, *inverter*, dan bahkan penyearah. Mosfet membutuhkan voltase *gate*, namun tidak membutuhkan arus *gate*. Seperti pada gambar 2.14 dibawah ini tentang pengunaan MGD pada IR2110 :



Gambar 2.14 MGD menggunakan IC IR2110 [5].

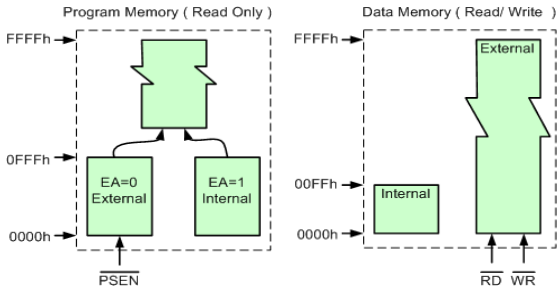
Pada gambar diatas kedua MOSFET bertipe sama yaitu N-MOSFET yang disusun menjadi *high* dan *low side* MOSFET. *Load* pada *High side* MOSFET diberikan pada kaki *Source*, sedangkan pada *low side* MOSFET *load* berada di kaki *Drain*. Perencanaan dan penentuan rangkaian serta komponen-komponen sangat penting. Hal ini dikarenakan intregritas dari seluruh komponen yang terangkai sangat menentukan fungsi *switching* yang efektif, efisien serta berkecepatan tinggi. Jika fungsi transfer tidak mampu bekerja secara cepat dari sebuah MGD yang dihasilkan maka akan mempengarui putaran motor BLDC tersebut.

2.5.4 *Microcontroller*

Microcontroller adalah sebuah sistem komputer yang seluruh atau sebagian besar elemennya dikemas dalam satu chip IC, sehingga sering disebut *single chip microcomputer*. *Microcontroller* merupakan sistem komputer yang mempunyai satu atau beberapa tugas yang sangat spesifik. Elemen *microcontroller* tersebut diantaranya adalah:

a) Pemroses (*processor*)
b) Memori
c) Input dan output

Kebanyakan pada *microcontroller* beberapa *chip* digabungkan dalam suatu papan rangkaian. Perangkat ini sangat tepat untuk mengerjakan sesuatu yang bersifat khusus, sehingga aplikasi yang diisikan ke dalam komputer ini adalah aplikasi yang bersifat *dedicated*. *Microcontroller* telah banyak digunakan di industri, karena memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan yang lainnya seperti PLC. Ukuran *microcontroller* lebih kecil sehingga peletakannya dapat lebih flexible dibandingkan dengan suatu modul PLC. *Microcontroller* telah banyak digunakan pada berbagai macam peralatan rumah tangga seperti mesin cuci. Sebagai pengendali sederhana, *microcontroller* telah banyak digunakan dalam dunia medik, pengaturan lalu lintas, dan masih banyak lagi. Contoh alat ini diantaranya adalah komputer yang digunakan pada mobil untuk mengatur kestabilan mesin, alat untuk pengatur lampu lalu lintas.



Gambar 2.15 Ruang Alamat Memori [6].

Microcontroller mempunyai ruang alamat tersendiri yang disebut memori. Memori dalam *microcontroller* terdiri atas memori program dan memori data dimana keduanya terpisah, yang memungkinkan pengaksesan data memori dan pengalamatan 8 bit, sehingga dapat langsung disimpan dan dimanipulasi oleh

microcontroller dengan kapasitas akses 8 bit. Program memori tersebut bersifat hanya dapat dibaca (ROM/EPROM). Sedangkan untuk data memori kita dapat menggunakan memori eksternal (RAM).

2.6 Baterai

Baterai adalah komponen penting untuk penyimpanan energi listrik yang bekerja berdasarkan prinsip elektrokimia. Artinya baterai ialah sel elektrokimia. Berdasarkan kerjanya, sel elektrokima dapat dibagi menjadi dua, yaitu sel galvanis dan sel elektrolisa. Sel galvanis yang sering disebut sel vota, merubah energi kimia menjadi kerja listrik sedangkan sel elektrolisa merubah kerja listrik untuk mengerakkan reaksi kimia tak spontan. Dalam baterai biasa, komponen kimia terkandung dalam alat itu sendiri. Jika reaktan dipasok dari sumber luar ketika dikonsumsi, alat ini disebut sel bahan bakar surya (fuel cell). Komponen dari sebuah baterai adalah bahan konduktor tak sejenis (elektroda) yang dicelupkan dalam larutan yang mampu menghantarkan listrik (elektrolit). Salah satu elektroda akan bermuatan listrik positif dan yang lain negative.

Gambar 2.16 Baterai Lifepo4

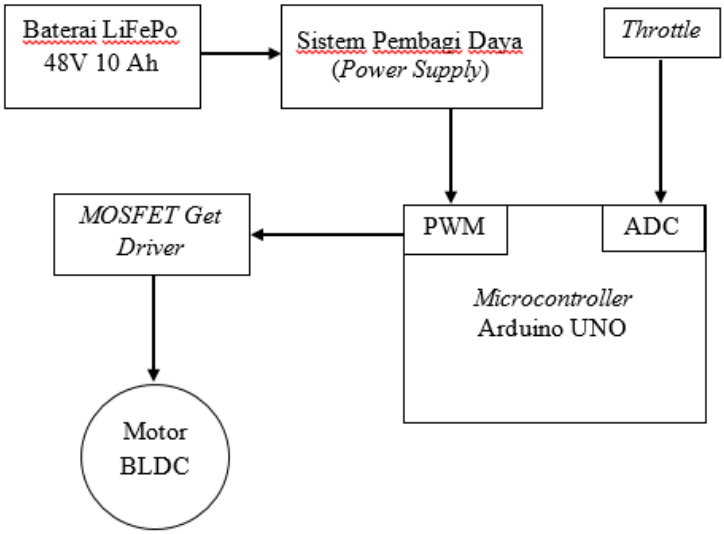
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini penulis akan menguraikan metode penelitian, spesifikasi peralatan yang dipakai dalam pengujian, cara pengujian serta pegambilan data-data yang akan diambil.

3.1 Blok Diagram Sistem Kontroler Motor BLDC

Sebelum melakukan pembuatan sistem diperlukan adanya sebuah perencanaan sebuah sistem berupa blok diagram yang dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Blok diagram sistem kontroler motor BLDC

Pada perencanaan sistem menggunakan beberapa komponen seperti baterai LiFePo 3,7 Volt 10 Ah yang dipasang secara seri 12 sehingga menjadi 48 Volt, *converter*, *microcontroller* Arduino UNO, dan satu buah motor BLDC yang

berfungsi sebagai penggerak utama pada mobil Nogogeni. Untuk mengatur besar input voltase pada motor BLDC digunakan rangkaian *converter* atau sistem pembagi daya. Sedangkan besarnya output akan mempengaruhi pada kecepatan motor BLDC tersebut. Sensor kecepatan untuk mengetahui kecepatan pada motor nantinya akan ditampilkan pada speed meter yang digunakan untuk membaca berapa kecepatan mobil ketika dilakukan tes jalan.

Bedasarkan dari blok diagram, perencanaan dan pembuatan sistem pada tugas akhir ini meliputi sebagai berikut :

1. Pengambilan data karakteristik motor BLDC.
2. Perencanaan pada *top and bottom output driver*.
3. Perencanaan mekanik penggerak mobil Nogogeni.
4. Perencanaan microcontroller menggunakan Arduino UNO.
5. Perencanaan dan pembuatan rangkain MOSFET Gate Driver dengan menggunakan IC IR2110.

3.2 Blok Diagram pada Pengujian Parsial

Adapun metode penelitian dengan sistem parsial tes bertjuan untuk mengetahui secara spesifik yang nantinya digunakan sebagai acuan perencanaan pada langkah berikutnya. Dan memudahkan dalam hal pengujian dan pengambilan data yang diambil.

3.2.1 Pengambila Data Karakteristik Motor BLDC

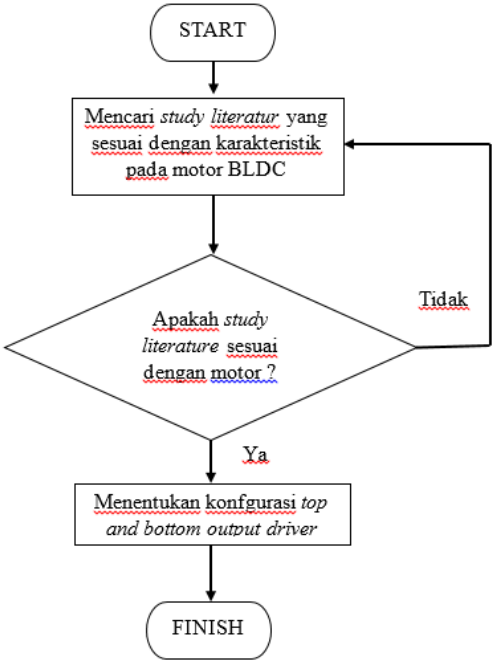
Pengambilan data karakteristik ini bertujan untuk mengetahui sistem konfigurasi komutasi pada motor BLDC yang digunakan menggunakan Avo meter seperti ditunjukan pada gambar 3.2 sebagai berikut :

Gambar 3.2 Flowchart Pengambilan Komutasi.

3.2.2 Pengolahan Data Komutasi untuk *Top and Bottom Output Driver*

Pengolahan data komutasi yang didapat nantinya akan ditarik sebuah kesimpulan tentang pola magnet pada motor tersebut. Selanjutnya mencari berbagai *study literatur* untuk menetukan konfigurasi dari *top and bottom output driver* yang sesuai dengan komutasi dan pola

magnet pada motor BLDC. Seperti yang ditnjukan pada gambar 3.3 sebagai berikut :

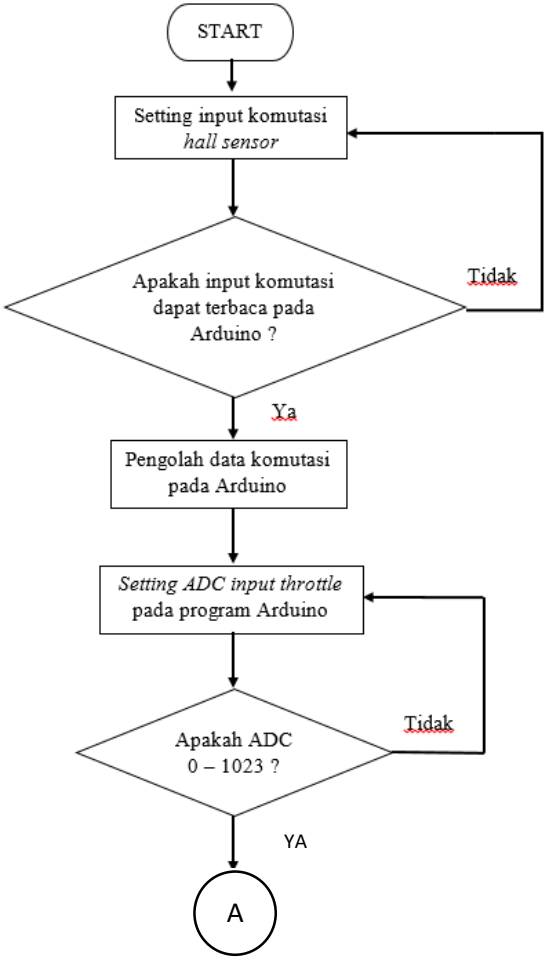


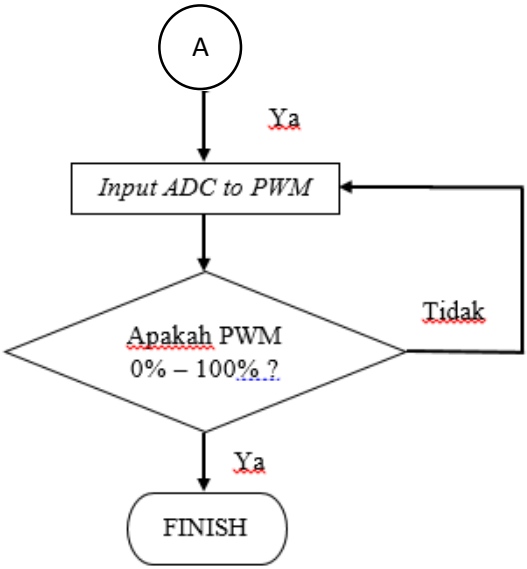
Gambar 3.3 Flowchart Perencanaan *Top and Bottom Output Driver*

3.2.3 Perencanaan Microkontroler

Adapun perencanaan *microcontroller* ini dijelaskan bagaimana cara proses pembuatan script programs pada *microcontroller* Arduino UNO serta pengaturan *input throttle* yang nantinya akan di olah

menjadi PWM. Seperti yang dijelaskan pada gambar 3.4 sebagai berikut:

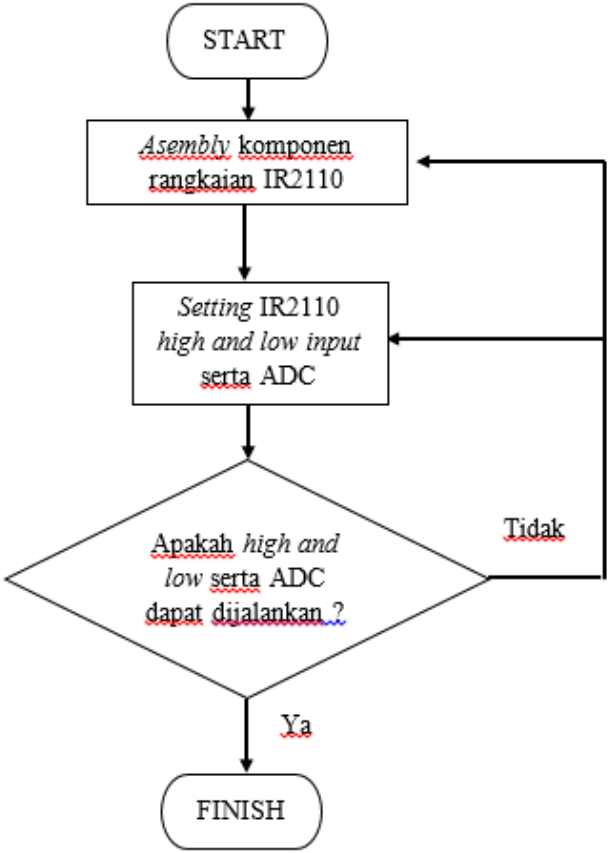




Gambar 3.4 Flowchart Perencanaan Microcontroller

3.2.4 Perencanaan MOSFET Gate Driver IC IR2110

Pada perencanaan MOSFET Gate Driver pada IC IR2110 ini menjelaskan bagaimana cara pengambilan data output dari IC IR2110 dengan metode HIGH and LOW serta ADC. Seperti pada gambar 3.5 seperti berikut :



Gambar 3.5 Flowchart Pengujian MOSFET Gate Driver

3.3 Alat dan Bahan

Pengujian sistem *BLDC motor controller* ini dalam prosesnya menggunakan beberapa alat ukur sebagai penunjang serta penentuan nilai dan gambaran dari output dan input. Selain itu pada *BLDC controller* ini terdiri dari beberapa bahan yang nantinya dapat di *assembly* menjadi satu kesatuan.

3.3.1 Alat yang Digunakan

Beberapa alat utama yang digunakan diantaranya;

1. AVO meter

   AVO meter atau multitester adalah alat untuk mengukur arus, voltase, dan hambatan listrik. AVO meter kepanjangan dari Ampere Volt Ohm Meter. Ada bebrapa jenis AVO meter, yaitu AVO meter analog dengan tampilan berupa jarum dan AVO meter digital dengan tampilan *display* nilai digital.

Gambar 3.6 AVO meter Digital [7].

2. *Tachometer*

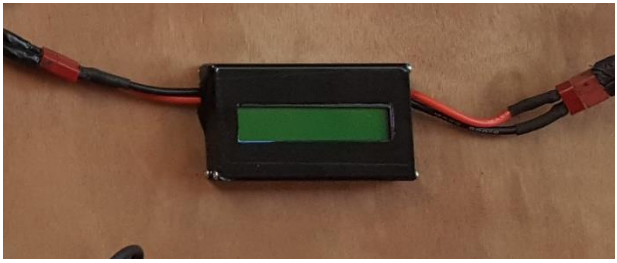
   Tachometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan rotasi dari sebuah objek. Seperti pengukaran rpm pada poros engkol mesin. alat ini sebelumya di rancang dengan dial, jarum yang menunjukkan pembacaan dan tanda-tanda yang menunjukan tingkat yang

aman dan berbahaya. Namun sekarang ini telah diproduksi *tachometer* digital yang memberikan pembacaan numeric tepat dan akurat dibandingkan menggunakan dial dan jarum.

Gambar 3.7 Tachometer digital [8].

3. *Watt Hour Meter*

   Watt hour meter sebenarnya adalah alat pengukur yang dapat mengevaluasi dan mencatat daya listrik yang melewati rangkaian dalam waktu tertentu. Dengan *watt hour meter* dapat mengetahui berapa banyak jumlah energi listrik yang digunakan. Serta dapat mengetahiu arus yang bekerja pada sebuah sistem. Sekarang ini produksi dari watt hour meter menggunakan petunjuk digital sehingga memudahkan dalam penggunaan.



Gambar 3.8 Watt Hour Meter

3.3.2 Bahan yang Digunakan

Beberapa bahan yang digunakan diantaranya adalah komponen-komponen yang terdapat pada wiring yang telah ditentukan.

1. Resistor

   Resistor adalah komponen elektronikan yang mempunyai 2 kutub yang di desain untuk menahan arus listrik dengan memproduksi volase listrik di antara kedua kutubnya. Nilai voltase terhadap resistansi berbanding dengan arus yang mengalir. Karakteristik utama dari resistor adalah hambatan dan daya listrik yang dapat dihantarkan. Resistor termasuk komponen pasif dimana komponen ini tidak membutuhkan arus listrik untuk bekerja. Resistor memiliki sifat menghambat arus listrik serta memiliki nilai besaran hambatan yaitu ohm dan dituliskan dengan symbol Ω.

Gambar 3.9 Resistor.

Selain membatasi atau menghambat arus listrik, resistor mempunyai kegunaan atau fungsi lainya, diantaranya adalah sebagai berikut :

a. Sebagai pembagi arus
b. Sebagai pembagi voltase
c. Sebgai penurun voltase
d. Sebgai penghambat arus listrik
e. Pengatur volume (potensiometer)
f. Pengatur kecepatan motor (rheostat), dll.

2. Dioda

Diode adalah adalah komponen elektronika yang terdiri dari dua kutub dan berfungsi menyearahkan arus. Komponen ini terdiri dari penggabungan dua semikonduktor yang masing-masing diberi doping (penambahan material) yang berbeda, dan tambahan material konduktor untuk mengalirkan listrik.

Gambar 3.10 Dioda

Salah satu jenis dioada adalah diode zener. Dioda Zener akan menyalurkan arus listrik yang mengalir ke arah yang berlawanan jika voltase yang diberikan melampaui batas atau voltase tembus dioda zenernya. Fungsi ini berbeda dengan dioda biasa yang hanya dapat menyalurkan arus listrik ke satu arah

Gambar 3.11 Dioda Zener

3. *Electrolit Condensator*

   Electrolit capasitor termasuk golongan kapasitor. Kapasitor adalah salah satu komponen elektronika pasif. *Electrolit capasitor* juga sering disebut elco. Jadi elco (*elektrolit condensator*) adalah jenis kapasitor yang memiliki dua kutub pada kaki-kakinya. Kapasitor ini juga biasa disebut dengan kapasitor polar. Umumnya, sebuah elco memiliki fungsi untuk menyimpan arus listrik DC. Namun pada prakteknya, elco memiliki fungsi yang sangat beragam mulai dari sebagai filter atau penyaring, sebagai kopling, penghemat daya listrik, sampai dengan pembangkit frekuensi. Tak heran jika elco dapat ditemukan di hampir semua jenis rangkaian elektronika.

Gambar 3.12 *Electrolit Capasitor*

4. Optocoupler

   Optocoupler adalah komponen elektronika yang berfungsi sebagai penghubung berdasarkan cahaya optik. Pada dasarnya Optocoupler terdiri dari 2

bagian utama yaitu transmitter yang berfungsi sebagai pengirim cahaya optik dan receiver yang berfungsi sebagai pendeteksi sumber cahaya. Optocoupler yang terdiri dari sebuah komponen LED (Light Emitting Diode) yang memancarkan cahaya infra merah (IR LED) dan sebuah komponen semikonduktor yang peka terhadap cahaya (Phototransistor) sebagai bagian yang digunakan untuk mendeteksi cahaya infra merah yang dipancarkan oleh IR LED. Arus listrik yang mengalir melalui IR LED akan menyebabkan IR LED memancarkan sinyal cahaya Infra merahnya. Intensitas Cahaya tergantung pada jumlah arus listrik yang mengalir pada IR LED tersebut. Cahaya Infra Merah yang dipancarkan tersebut akan dideteksi oleh Phototransistor dan menyebabkan terjadinya hubungan atau Switch ON pada Phototransistor. Prinsip kerja Phototransistor hampir sama dengan Transistor Bipolar biasa, yang membedakan adalah Terminal Basis (Base) Phototransistor merupakan penerima yang peka terhadap cahaya.

Gambar 3.13 Optocoupler

5. MOSFET

MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) adalah sebuah perangkat semionduktor yang secara luas di gunakan sebagai *switch* dan sebagai penguat sinyal pada perangkat elektronik. MOSFET adalah inti dari sebuah IC (*integrated Circuit*) yang di desain dan di fabrikasi dengan single chip karena ukurannya yang sangat kecil. MOSFET memiliki tiga gerbang terminal antara lain adalah *Source* (S), *Gate* (G), dan *Drain* (D). ujuan dari MOSFET adalah mengontrol voltase dan Aarus melalui antara *Source* dan *Drain*.

Gambar 3.14 MODFET

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV
PENGUJIAN DAN ANALISA

Pada bab ini akan dibahas pegujian dan perencanaan sistem yang telah dibuat. Adapun perencannaan pembuatan BLDC motor *controller*, pengambilan data, serta pengujian per bagian dari *controller*. Selanjutnya akan dijelaskan tentang tiap bagian dari sistematika pembuatan. Adapun metode pengujian data dapat dijelaskan pada sub bab berikut.

4.1 Pengambilan Data Karakteristik Motor

Pada pengambilan data karakteristik motor yang digunakan pada mobil prototype Nogogeni dapat diketahui pada label motor adalah motor 250W. Adapun pengambilan data yang dilakukan adalah pola sistem komutasi motor. Pengambilan data komutasi menggunakan alat *AVO meter*. Dengan mengukur adanya voltase pada setiap kabel hall sensor pada motor BLDC yang diteliti.

Gambar 4.1 Pengambilan Data Menggunkan Alat *AVO Meter*

Adapun data komutasi *hall sensor* yang diambil dari motor BLDC tersebut dengan menggunakan AVO meter akan dijadikan tolak ukur sistem komutasi pada sistem *BLDC motor controller* yang akan dibuat. Berikut data hasil pengukran ditunjukan pada tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1 tabel hasil pengambilan data komutasi pada motor BLDC.

No.	**Output Teagangan Hall Sensor**		
	S1	**S2**	**S3**
1.	1	0	0
2.	1	1	0
3.	0	1	0
4.	0	1	1
5.	0	0	1
6.	1	0	1

4.2 Kajian Study Literature

Setelah pengambilan data komutasi pada motor, selanjunya diperlukan kajian study literature dengan cara mengumpulkan data-data yang diperlukan terkait *BLDC motor controller*. Hasil dari kajian *study literature* nantinya untuk dijadikan sebuah referensi yang akan dijadikan nilai input dari sistem *output top and bottom driver* pada *Mosfet Gate Driver*. Adapun data yang diperoleh dari kajian study literature ditunjukan pada tabel 4.2 sebagai berikut :

Tabel 4.2 Tabel Hasil Dari Kajian *Study Literature* yang diperoleh [9].

INPUT						OUTPUT					
Sensor Electrical Phasing						Top Drives			Bottom Drives		
60			120								
S1	S2	S3	S1	S2	S3	H1	H2	H3	L1	L2	L3
1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1
1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1
1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0
0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0
0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0
0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0

Data yang telah didapatkandari kajian study literature, nantinya terlebih dahulu disesuaikan dengan hasil dari pengambilan data komutasi, sehingga menghasilkan input pada motor yang dibutuhkan. Adapun data yang telah di hasilkan seperti pada tabel 4.3 agar terbentuk sistem nilai komutasi yang sesuai dengan motor BLDC yang diteliti.

Tabel 4.3 Tabel hasil komutasi motor BLDC

INPUT			**OUTPUT**					
Sensor Electrical Phasing			**Top Drives**			**Bottom Drives**		
120								
S1	S2	S3	H1	H2	H3	L1	L2	L3
1	0	0	0	1	1	0	0	1
1	1	0	1	0	1	0	0	1
0	1	0	1	0	1	1	0	0
0	1	1	1	1	0	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0	1	0
1	0	1	0	1	1	0	1	0

4.3 Perencanaan Sistim Pembagi Daya

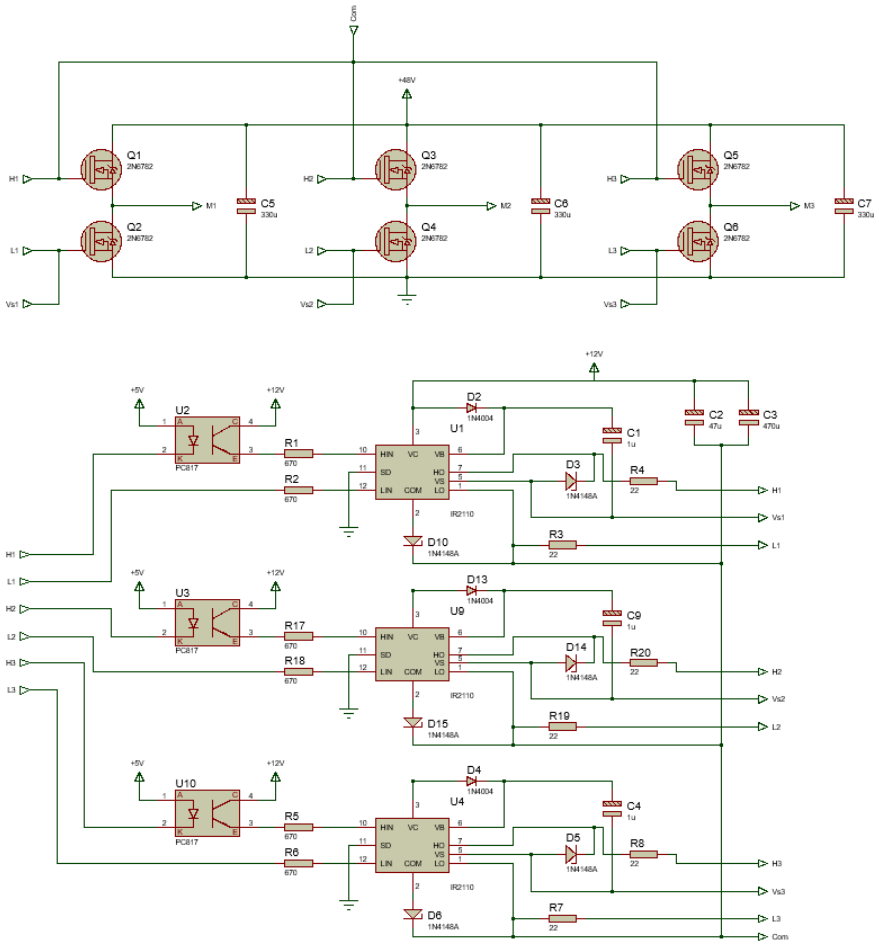
Sistem pembagi daya sanagat dibutuhkan pada sebuah sistim elektronika dalam penyesuaian kebutuhan daya yang diperlukan. Dalam penelitian ini sistem pembagi daya di rencanakan untuk memenuhi daya pada setiap komponen yang berbeda-beda. Sehingga dapat mengurangi dalam penggunaan jumlah sumber daya dalam pemakaian. Pada penelitian ini, salah satunya digunakan sebuah *converter* buatan pabrik yang mampu sebagai *step down* dari sumber utama sebesar 36V menjadi 12V. Adapun *converter* yang digunakan seperti pada gambar 4.2 sebagai berikut :

Gambar 4.2 *Converter step down* 12V.

4.4 Perencanaan dan pembuatan Sistim Mosfet Gate Driver

Perencanaan pada sistim MGD ini digunakan untuk mengatur nilai output agar sesuai dari hasil pengolahan pada

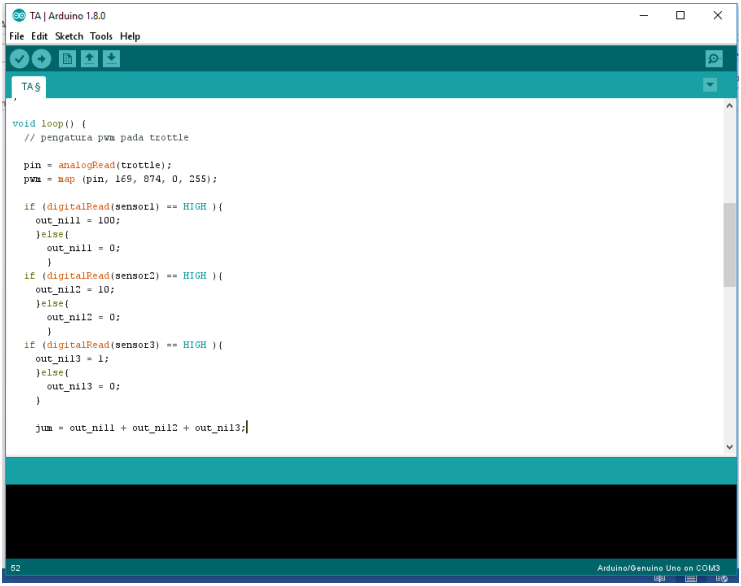
microcontroller. Adapun perencanaan sistim MGD dapat ditunjukan pada gambar 4.3 yang ditunjukan sebagai berikut :



Gambar 4.3 schematic wiring Mosfet Gate Driver.

4.5 Perencanaan pemograman pada sistim *Microcontroller* menggunakan Arduino UNO

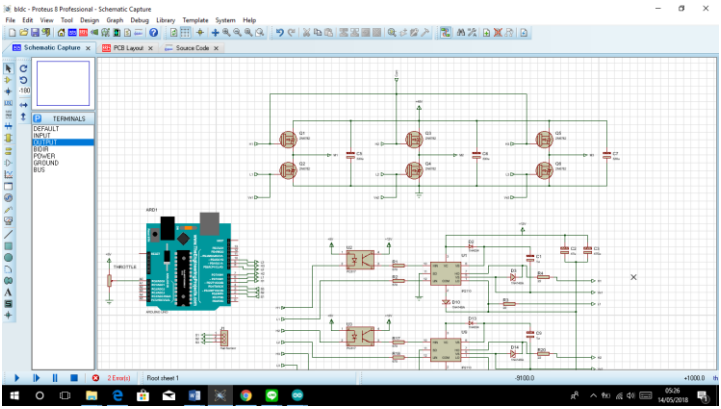
Pada proyek Tugas Akhir pembuatan kontroler motor BLDC, digunakan *microcontroller* Arduino UNO. Hal ini dikarenakan untuk mempermudah dalam merangkai rangkaian elektronika mikrokontroler dalam menyelesaikan pembuatan *controller*, dari pada harus merangkai terlebih dahulu rangkaian ATMega328 dari awal. Selain itu, kelebihan dari penggunaan Arduino adalah sudah dilengkapi software pemograman yang bernama Arduino Software (IDE) sehingga mempermudah dalam pengaplikasiannya. Berikut adalah software pada Arduino yang dirancang untuk pengoperasian motor BLDC ditunjukkan pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Software Pemograman pada Arduino Software (IDE).

4.6 Pembuatan Design Wiring

Untuk membuat sebuah rangkaian elektronika di perlukan software untuk membuat wiring serta simulasi dari wiring tersebut salah satunya menggunakan Software Proteus. Proteus sendiri dilengkapi dengan dua fungsi sekaligus dalam satu paket. Pertama, sebagai software untuk mendesain rangkaian elektronika dan mampu digunakan simulasi pada rangkaian tersebut yang diberi nama ISIS. Kedua, digunakan dalam perancangan Printed Circuits Board (PCB) yang diberi nama ARES. Adapaun pembuatan wiring kontroler seperti ditunjukan pada gambar 4.5 sebagai berikut :

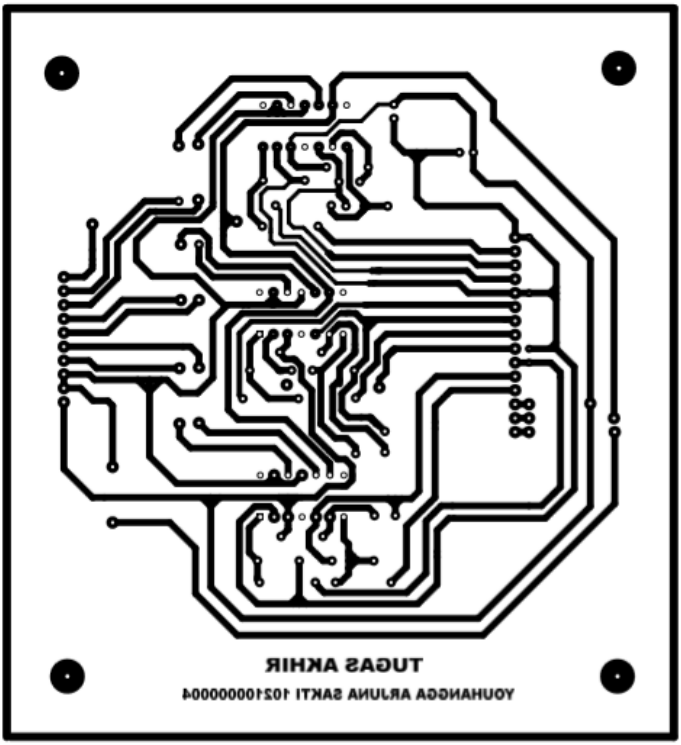


Gambar 4.5 Pembuatan Wiring Pada Software Proteus.

4.7 Pembuatan PCB

Setelah desain wiring telah selesai dibuat pada Proteus, selanjutnya dicetak menggunakan print laser seperti ditunjukan pada gambar 4.6 dibawah ini. Selanjutnya dilakukan proses pensablonan pada lembaran tembaga pcb polos. Pada proses pensablonan dilakukan dengan baik dan benar serta di cermati secara teliti, agar tidak terjadi jalur yang terputus-putus pada rangkaian PCB. Yang nantinya akan mengakibatkan error pada sistem *controller* yang telah dibuat. Selanjutanya pcb yang telah

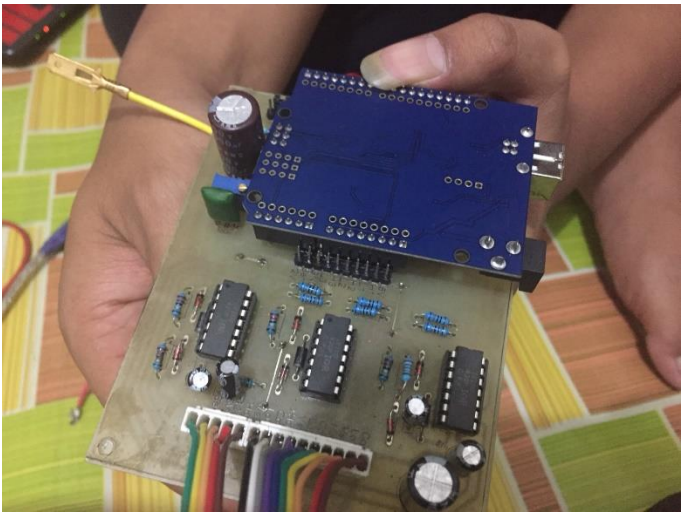
disablon sebelumnya akan dilarutkan pada cairan zat kimia yaitu fericloride.



Gambar 4.6 Layout PCB

4.8 Proses Assembly

Setelah semua bagian atau part telah di buat, maka diperluakan penggabungan anatara part satu dengan yang lainnya. Serta pemasangan komponen-komponen pada papan pcb yang telah kita buat. Adapun hasil dari assembly seluruh part ditunjukan seperti pada gambar 4.7 seperti berikut :



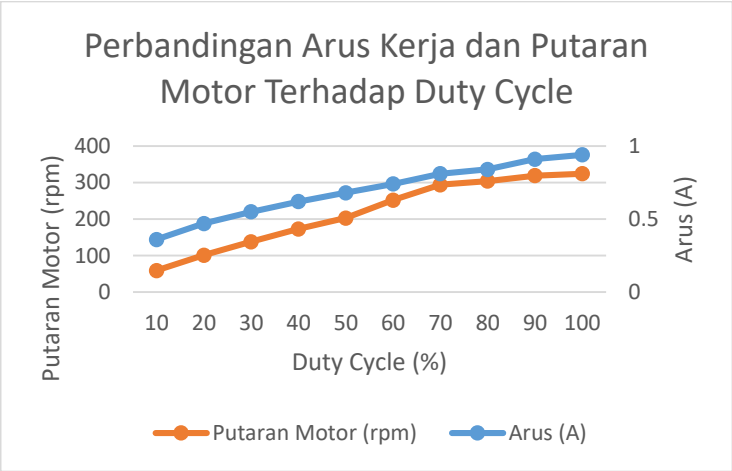
Gambar 4.7 Assembly dari seluruh part yang telah dibuat.

4.9 Pengujian Kontroler Motor BLDC

Pada bagian ini akan dijelaskan sistim *controller* sesuai dengan blok diagram yang sudah dibuat. Adapun sistim pengujian dari *controller* dilakukan dengan metode stand alone. Dalam hal ini *controller* dirancang menggunakan sumber utama sebesar 36V 10Ah. Serta digunakan konverter yang menghasilkan voltase output 12V. Dan akan dilakukan pengukuran menggunakan alat *joulemeter* untuk mengetahui arus yang digunakan serta *tachometer* untuk mengetahui putaran pada motor. Adapun hasil dari pengujian ditunjukan pada tabel 4.4 dan gambar 4.8 sebagai berikut :

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Kontroler Motor BLDC

No.	Duty Cycle (%)	Arus (A)	Putaran Motor (rpm)
1.	10	0.36	59
2.	20	0.47	101
3.	30	0.55	138
4.	40	0.62	173
5.	50	0.68	203
6.	60	0.74	252
7.	70	0.81	294
8.	80	0.84	304
9.	90	0.91	319
10.	100	0.94	324



Gambar 4.8 Grafik hasil Pengujian Kontroler Motor BLDC

Dari hasil pengujian motor BLDC dengan daya 250W dan voltase sumber 36V dapat dianalisa yaitu dengan mengubah variasi *duty cycle* dari 0% sampai 100% menggunakan pemograman Arduino dapat mengatur kecepatan pada motor BLDC. Semakin bertambahnya nilai *duty cycle* maka akan bertambah putaran motor BLDC. Sehingga didapatkan kesimpulan bahwa *duty cycle* dalam hal ini pengaturan menggunakan PWM dapat merubah range kecepatan motor lebih spesifik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melalui proses perencanaan, pembuatan, serta pengujian dan pengambilan data yang didapatkan maka dapat disimpulkan beberapa hal yaitu sebagai berikut:

1. Setelah dilakukan penelitian terhadap motor BLDC yang digunakan untuk membuat controller diperlukan pengaturan menggunakan sinyal PWM untuk memberikan nilai output yang dikirimkan dari *microcontroller* sehingga motor dapat berputar.
2. Controller didesain menggunakan *microcontroller* Arduino UNO dengan mengatur variasi dari *duty cycle* untuk mengatur kecepatan putaran pada motor. Nilai output dari *microcontroller* tersebut akan di hubungkan ke driver mosfet dengan menggunakan IC IR2110 untuk mengatur dari output pada *top and bottom driver*.
3. Pengujian integrasi *controller* dilakukan dengan tanpa beban menghasilkan putaran maksimal sebesar 324 rpm dengan arus kerja sebesar 0.94 A. Sedangkan pengujian dengan cara uji jalan didapakan hasil bahwa *controller* mampu menghasilkan kecepatan 26 km/jam dengan perbandingan sprocket 28:32 pada mobil prototype Nogogeni 4 yang berjalan pada jarak 3 km dengan rincian waktu 6,43 menit menghasilkan efisiensi konsumsi sebesar 254 km/ kwh

5.2 Saran

Dalam penyusunan dan penyelesaian Tugas Akhir ini tentu tidak lepas dari berbagai macam kekurangan, baik itu pada perencanaan sistem atau, simulasi, pembuatan serta penguian alat. Maka dari itu diperlukan masukan dan kritikan untuk memperbaiki sistem menadi sempurna maka perlu dilakukan hal-hal sebagai berikut:

1. Setelah dilakukan penelitian terhadap motor BLDC yang digunakan untuk membuat controller diperlukan beberapa kajian study literature yang digunakan sebagai refrensi serta dilakukan pengujian parsial masng-masing bagian yang nantinya dijadikan tolak ukur dalam perencanaan pada bagian selanjutnya.
2. Dalam sebuah sistem diperlukan perhitungan yang sesuai untuk menunjang performa serta kebutuhan daya konsumsi setiap komponennya. Sehinga mempermudah dalam setiap perencanaan dan pemilihan komponen yang dibutuhkan. Serta efisiensi yang maksimal pada konsumsi pengunaan motor. Karena tujuan dari pembuatan *controller* salah satunya dipakai pada ajang kompetisi pada mobil hemat energi yang diselenggarakan di tingkat nasional maupun internasioal.
3. Dalam perencanaan lebih diperhatikan dalam pemilihan variabel untuk mengatur kecepatan motor.
4. Diperlukan perencanaa sebuah *microcontroller* yang mampu bekerja sesuai dengan yang diharapkan.
5. Dalam perencanaan perlu diperhatikan masalah kualitas dari setiap komponennya.
6. Diperlukan kajian berkelanjutan agar mendapatkan hasil yang terbaik dalam pembuatan *controller* pada penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Husaini, Achmad Nur. 2015, Prinsip kerja Motor BLDC, *http://www.insinyoer.com/prinsip-kerja-motor-brushless-dc-bldc-motor/3/*

[2] https://www.indiamart.com/proddetail/unipolar-hall-effect-switch-ic-sensor-8709111273.html

[3] http://robotic-electric.blogspot.com/2012/11/pulse-width-modulation-pwm.html

[4] https://indone5ia.wordpress.com/2011/09/02/sekilas-mengenai-konverter-dc-dc/

[5] https://www.infineonforums.com/threads/4890-what-the-best-way-to-calculate-Rg-gate-driver-for-Mosfet

[6] Chamim, Anna Nur Nazilah, 2010. PENGGUNAAN MICROCONTROLLER SEBAGAI PENDETEKSI POSISI DENGAN MENGGUNAKAN SINYA GSM. . Yogyakarta : Politeknik PPKP Yogyakarta.

[7] http://abi-blog.com/cara-menggunakan-avometer-digital/

[8] https://www.jaycar.com.au/digital-tachometer/p/QM1448

[9] Semiconductor Components Industries , 2014, Datashet MC33035, International Rectifier.

Datasheet IR2110, 2015, Data Sheet IR2110, International Rectifier, *www.irf.com/product-info/datasheets/data/ir2110*.

Datasheet P75NF, 2015, Data Sheet P75NF, International Rectifier, *www.irf.com/product-info/datasheets/data/p75nf* .

DEPOK INSTRUMENTS, 2012, Pulse-Width Modulation, *https://depokinstruments.com/2012/06/16/pwm-pulse-width-modulation-pembahasan/*

Mashudi, Nanang. 2014. DESAIN CONTROLLER MOTOR BLDC UNTUK MENINGKATKAN PERFORMA (DAYA OUTPUT) SEPEDA MOTOR LISRIK. Surabaya : Program Studi D3 Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri ITS.

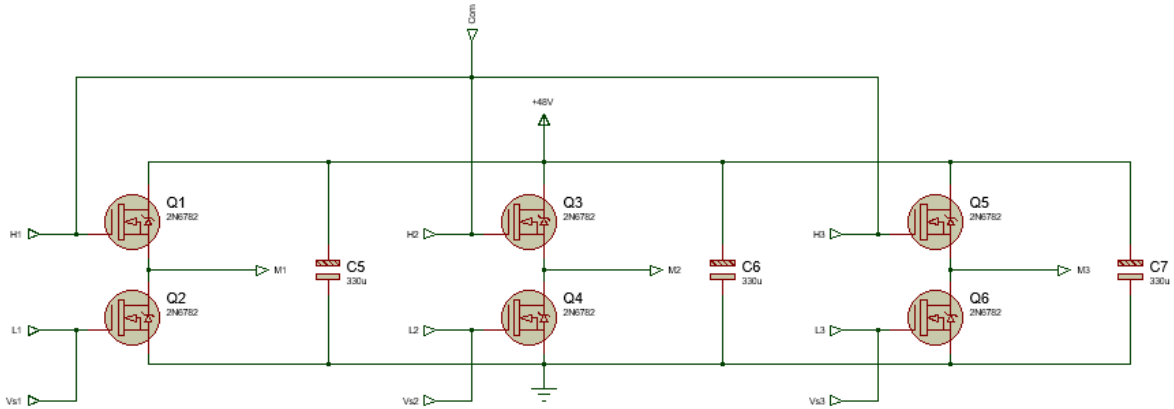
Lampiran 1 :

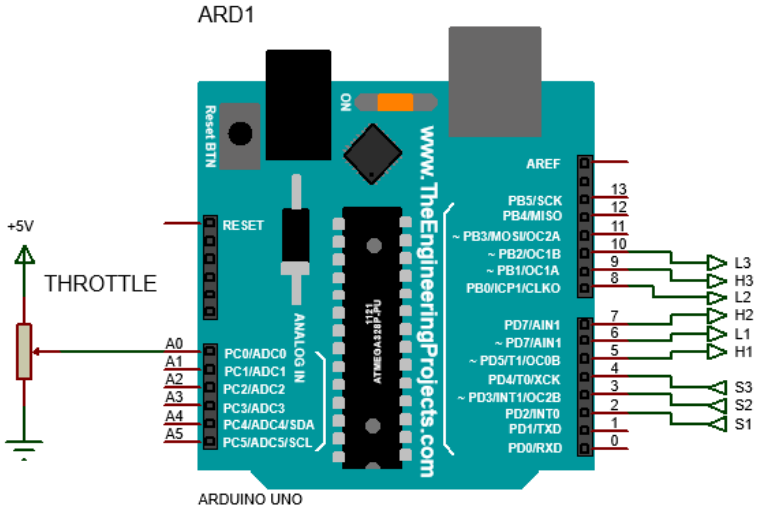
```
int sensor1 = 2;
int sensor2 = 3;
int sensor3 = 4;
int H1 = 5;
int H2 = 6;
int H3 = 7;
int L1 = 8;
int L2 = 9;
int L3 = 10;
int out_nil1;
int out_nil2;
int out_nil3;
int pwm;
int pin;
int trottle = A0;
int jum;
void setup() {
  pinMode(sensor1,INPUT);
  pinMode(sensor2,INPUT);
  pinMode(sensor3,INPUT);
  pinMode(H1,OUTPUT);
  pinMode(H2,OUTPUT);
  pinMode(H3,OUTPUT);
  pinMode(L1,OUTPUT);
  pinMode(L2,OUTPUT);
  pinMode(L3,OUTPUT);
}

void loop() {
  // pengaturan pwm pada trottle

  pin = analogRead(trottle);
  pwm = map (pin, 169, 874, 0, 255);
```

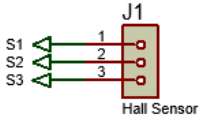
```
if (digitalRead(sensor1) == HIGH ){
  out_nil1 = 100;
  }else{
    out_nil1 = 0;
    }
if (digitalRead(sensor2) == HIGH ){
  out_nil2 = 10;
  }else{
    out_nil2 = 0;
    }
if (digitalRead(sensor3) == HIGH ){
  out_nil3 = 1;
  }else{
    out_nil3 = 0;
  }

  jum = out_nil1 + out_nil2 + out_nil3;

    if (jum == 100){ // konfigurasi 011
      digitalWrite(H1, LOW);
      digitalWrite(H2, HIGH);
      digitalWrite(H3, HIGH);
      digitalWrite(L1, LOW);
      digitalWrite(L2, LOW);
      analogWrite(L3, pwm);
      } if(jum == 110){
        digitalWrite(H1, HIGH);
        digitalWrite(H2, LOW);
        digitalWrite(H3, HIGH);
        digitalWrite(L1, LOW);
        digitalWrite(L2, LOW);
        analogWrite(L3, pwm);
        } if (jum == 10){
          digitalWrite(H1, HIGH);
```

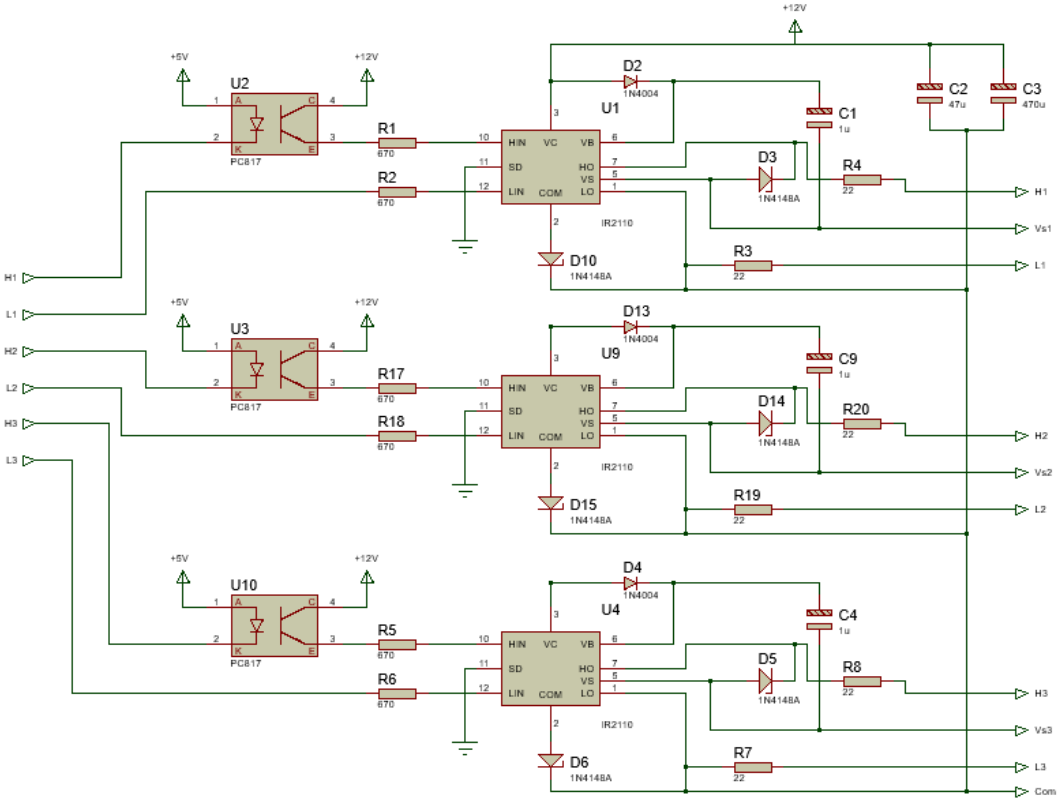
```
digitalWrite(H2, LOW);
digitalWrite(H3, HIGH);
analogWrite(L1, pwm);
digitalWrite(L2, LOW);
digitalWrite(L3, LOW);
}if (jum == 11){
  digitalWrite(H1, HIGH);
  digitalWrite(H2, HIGH);
  digitalWrite(H3, LOW);
  analogWrite(L1, pwm);
  digitalWrite(L2, LOW);
  digitalWrite(L3, LOW);
  }if (jum == 1){
    digitalWrite(H1, HIGH);
    digitalWrite(H2, HIGH);
    digitalWrite(H3, LOW);
    digitalWrite(L1, LOW);
    analogWrite(L2, pwm);
    digitalWrite(L3, LOW);
    }if (jum == 101){
      digitalWrite(H1, LOW);
      digitalWrite(H2, HIGH);
      digitalWrite(H3, HIGH);
      digitalWrite(L1, LOW);
      analogWrite(L2, pwm);
      digitalWrite(L3, LOW);
      }
}
```

Lampiran 7 :


Com
+48V
Q1
2N6782
Q2
2N6782
Q3
2N6782
Q4
2N6782
Q5
2N6782
Q6
2N6782
C5
330u
C6
330u
C7
330u
H1
L1
Vs1
H2
L2
Vs2
H3
L3
Vs3
M1
M2
M3


ARD1
+5V
THROTTLE
RESET
Reset BTN
ON
AREF
PB5/SCK
PB4/MISO
~ PB3/MOSI/OC2A
~ PB2/OC1B
~ PB1/OC1A
PB0/ICP1/CLKO
PD7/AIN1
~ PD7/AIN1
~ PD5/T1/OC0B
PD4/T0/XCK
~ PD3/INT1/OC2B
PD2/INT0
PD1/TXD
PD0/RXD
PC0/ADC0
PC1/ADC1
PC2/ADC2
PC3/ADC3
PC4/ADC4/SDA
PC5/ADC5/SCL
ANALOG IN
A0
A1
A2
A3
A4
A5
L3
H3
L2
H2
L1
H1
S3
S2
S1
www.TheEngineeringProjects.com
ARDUINO UNO


J1
S1
S2
S3
Hall Sensor


+12V
+5V
U1
U2
U3
U4
U9
U10
PC817
IR2110
HIN
SD
LIN
VC
VB
HO
VS
LO
COM
D2
D3
D4
D5
D6
D10
D13
D14
D15
1N4004
1N4148A
C1
C2
C3
C4
C9
1u
47u
470u
R1
R2
R3
R4
R5
R6
R7
R8
R17
R18
R19
R20
670
22
H1
L1
H2
L2
H3
L3
Vs1
Vs2
Vs3
Com

BIOADATA PENULIS

Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara yang lahir pada tanggal 9 April 1996 di Ponorogo, Provinsi Jawa Timur. Pendidikan formal yang pernah ditempuh penulis antara lain meliputi SD Muhamadiyah 1 Ponorogo, SMPN 2 Ponorogo dan SMKN 1 Jenangan dengan jurusan Rekayasa Perangkat Lunak. Setelah itu penulis meneruskan pendidikan tingkat perguruan tinggi di Departemen Teknik Mesin Industri dan mengambil bidang studi Konversi Energi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2015. Selama masa pendidikan di perkuliahan, penulis mengikuti tim riset mobil Nogogeni pada divisi *Electric and Propulsion System*. Dan mengikuti perlombaan di tingkat nasional maupun internasional. Pelatihan yang pernah diikuti penulis antara lain: Pelatihan Karya Tulis Ilmiah HMDM (2015), Latihan Kemandirian Manajemen Mahasiswa Pra-Tingkat Dasar (2015) dan lain sebagainya. Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Barata Indonesia - Gresik. Bagi pembaca yang ingin lebih mengenal penulis dapat menghubungi:

- e-mail : anggaarjuna.aa@mail.com