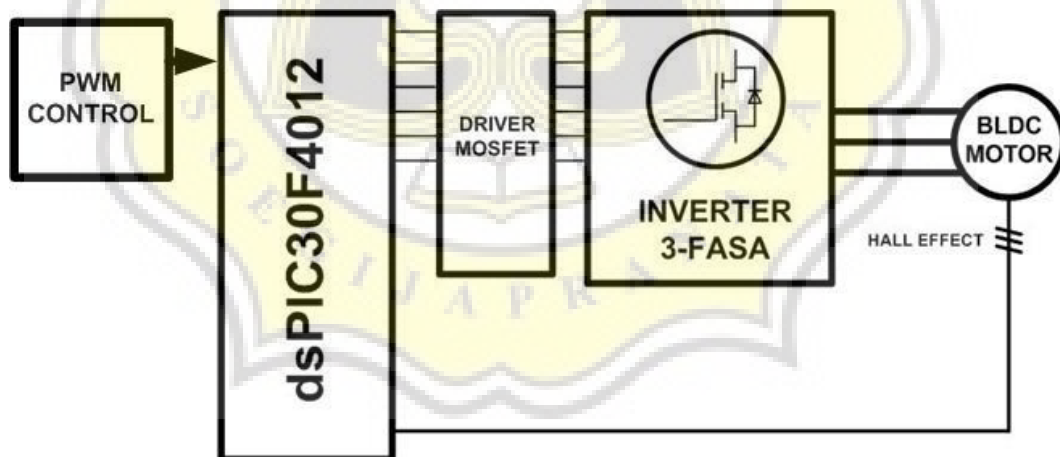


BAB III

RANCANGAN DESAIN DAN IMPLEMENTASI PENGATUR KECEPATAN PADA MOTOR BLDC BERBASIS dsPIC30F4012

3.1 Pendahuluan

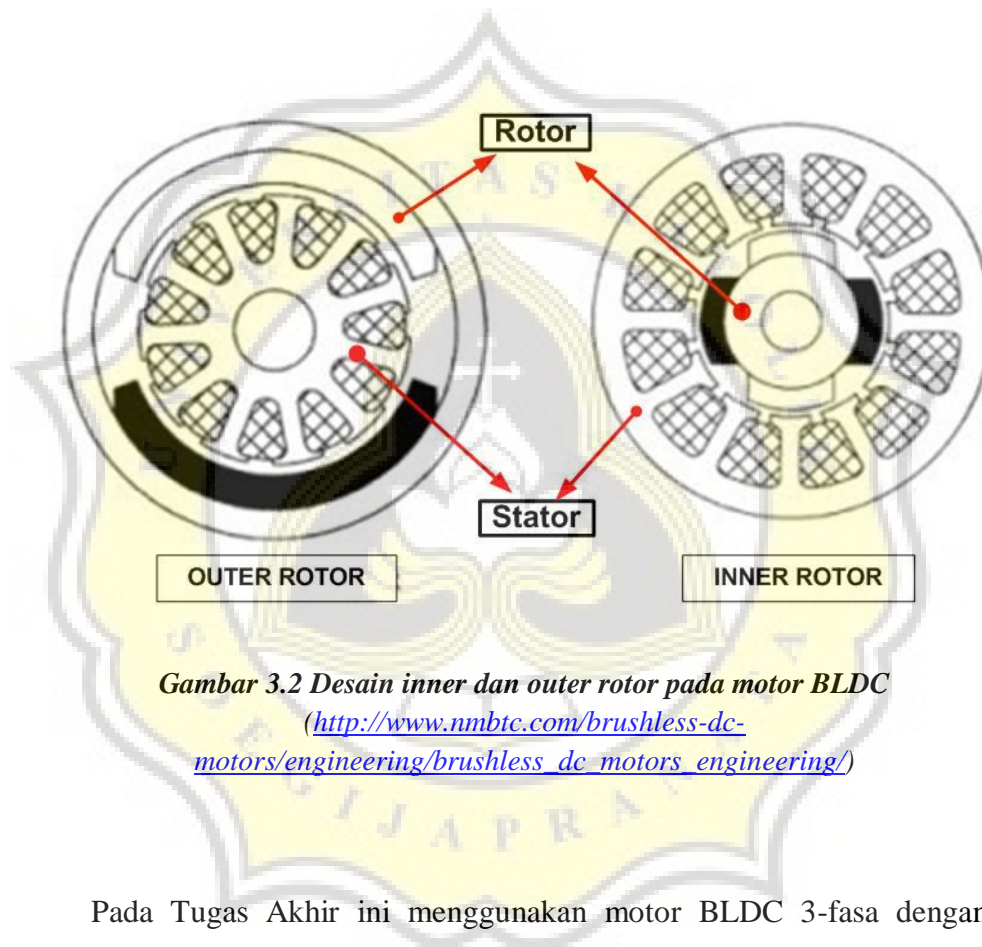
Penelitian Tugas Akhir ini telah dilaksanakan dengan metode secara analisis, simulasi, dan eksperimen. Pada bab ini akan dibahas mengenai metodologi yang digunakan dalam desain dan implementasi pengendalian motor BLDC, yang meliputi proses desain, komponen, dan peralatan yang digunakan, prosedur dan proses termasuk didalamnya perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*).



Gambar 3.1 Diagram blok sistem

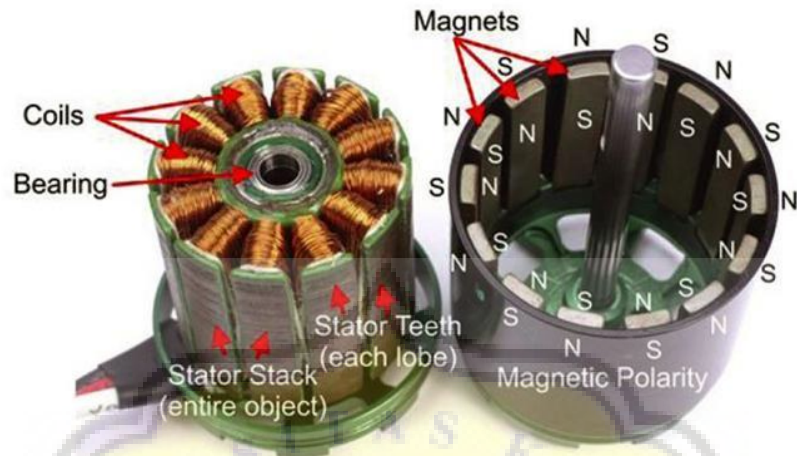
3.2 Motor BLDC 3-fasa Outer rotor

Motor BLDC dibagi menjadi dua tipe rotor yaitu *Inner rotor* dan *Outer rotor*, *Inner rotor* adalah motor BLDC yang memiliki rotor yang berputar pada bagian dalam motor, sedangkan *Outer rotor* adalah rotor yang berputar pada bagian luar motor BLDC.



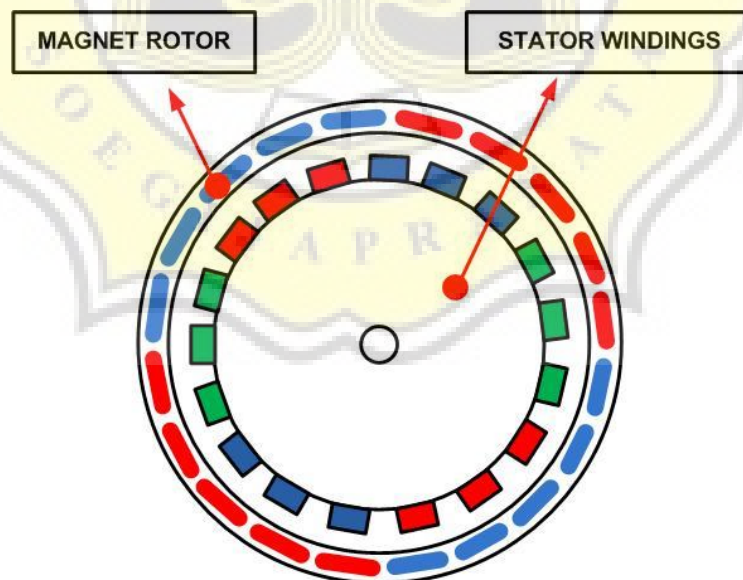
Gambar 3.2 Desain inner dan outer rotor pada motor BLDC
(http://www.nmbtc.com/brushless-dc-motors/engineering/brushless_dc_motors_engineering/)

Pada Tugas Akhir ini menggunakan motor BLDC 3-fasa dengan tipe *Outer rotor*, karena pada motor BLDC dengan tipe *Outer rotor* sering digunakan dalam peralatan transportasi seperti sepeda listrik, dan lain-lain.



Gambar 3.3 Motor BLDC Outer rotor (<http://www.rcplanesguru.org>)

Motor ini memiliki 20 kutub magnet pada rotor dan 18 winding pada stator yang dilengkapi dengan *sensor hall effect*. Motor ini dapat bekerja pada arus yang tinggi serta tegangan masukan mencapai 24Volt.

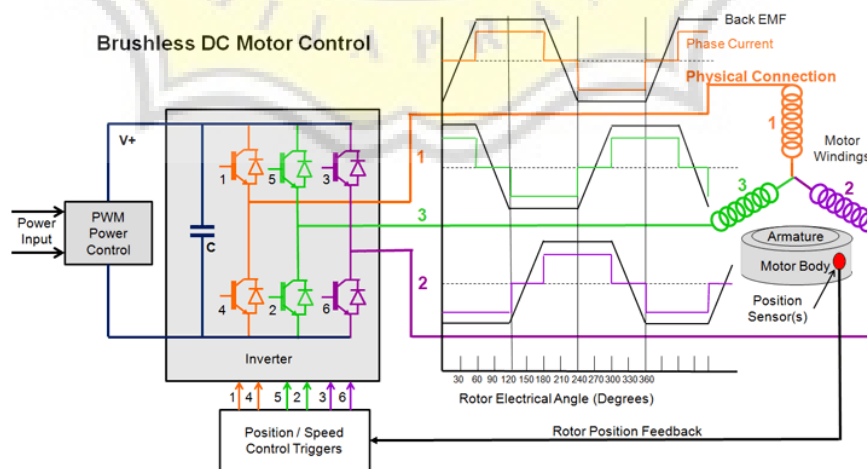


Gambar 3.4 Konstruksi Motor BLDC

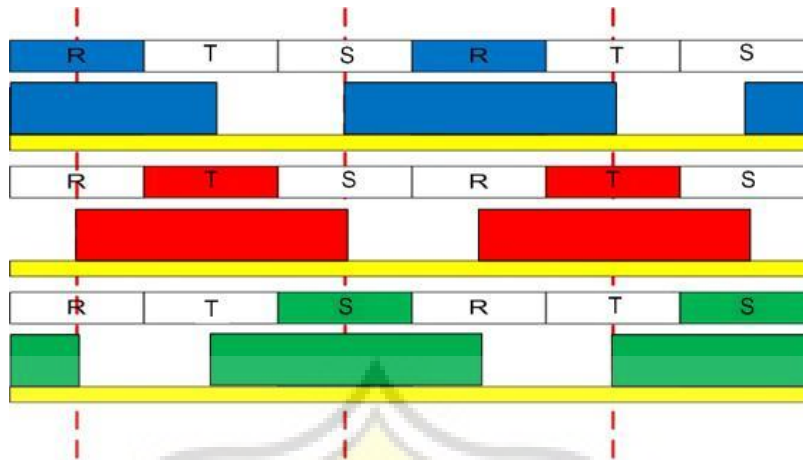
3.3 Pola pensaklaran motor BLDC dan pengendalian kecepatan

Sensor *Hall effect* membaca posisi rotor pada motor BLDC kemudian data tersebut akan diolah untuk menghasilkan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*). Kemudian sinyal PWM tersebut diteruskan pada mikrokontrol *dsPIC30F4012*, dan diolah untuk menentukan urutan saklar yang *off* atau *on* pada blok rangkaian daya yang dikendalikan oleh blok *driver*. Pada pengaturan kecepatan ini, saklar pada inverter 3-phase berfungsi sedikit berbeda. Yaitu jika motor diatur pada kecepatan tertentu maka saklar 1 (S1) ON secara berkala sedangkan saklar 2 (S2) dan saklar 3 (S3) ON lebih cepat sesuai frekuensi, sehingga mempengaruhi *duty cycle*. Pengaturan *duty cycle* menentukan jumlah daya yang masuk ke motor, setelah tahu saklar mana yang mati atau nyala kemudian stator akan berubah polaritasnya, akan berdampak pada stator mana yang selatan atau utara sehingga rotor pada motor akan berputar.

Diagram dibawah ini menunjukkan sistem untuk pegendali tegangan dan kecepatan dengan gelombang arus dan tegangan yang ditumpangkan pada sirkuit.



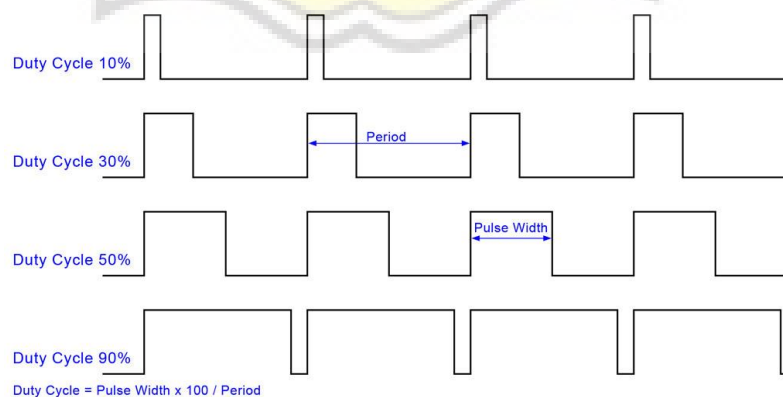
Gambar 3.5 Skema Kontrol motor BLDC
(<http://www.mpoweruk.com/images/BLDCControl.gif>)



Gambar 3.6 Step motor BLDC

Operasi Variabel Kecepatan

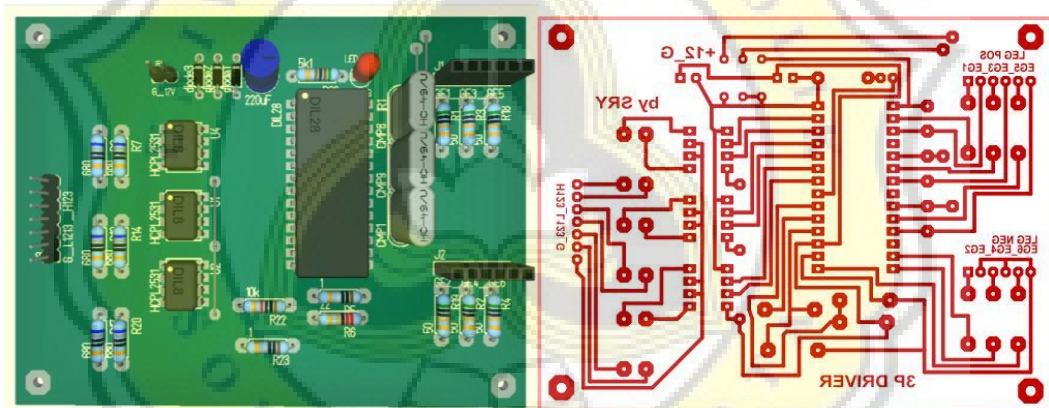
Motor Brushless DC dibuat untuk menandingi karakteristik motor DC konvensional, di mana pengaturan kecepatan pada motor DC dikendalikan dengan memberikan sumber tegangan yang stabil dengan frekuensi kerja yang sama tetapi duty cycle pulsa kontrol kecepatan motor BLDC yang bervariasi. Konsep pada driver motor BLDC ini adalah mengatur lebar sisi positif dan negatif pulsa kontrol pada frekuensi kerja yang tetap. Semakin lebar sisi pulsa positif maka semakin tinggi kecepatan motor BLDC dan semakin lebar sisi pulsa negatif maka semakin rendah kecepatan putar motor BLDC.



Gambar 3.7 Pengaturan Duty cycle PWM (<http://www.protostack.com/>)

3.4 Rangkaian Driver saklar satatik

Secara umum sistem *driver* digunakan untuk menginterfacing antara sistem kontrol yang bekerja pada rating tegangan dan arus besar, yang memiliki *grounding* yang berbeda, sehingga pada *inverter* tiga fasa mutlak diperlukan adanya pengendali/*driver* dimana suatu *system* tidak terhubung secara galvanis (*isolated*) antara dsPIC30F4012 dengan MOSFET. Berikut dijelaskan dan digambarkan mengenai komponen yang digunakan dalam membangun sistem *driver gate* MOSFET menggunakan IR2132:



Gambar 3.8 Desain target layout PCB driver

3.4.1 HCPL 2531 High Speed Transistor Optocoupler

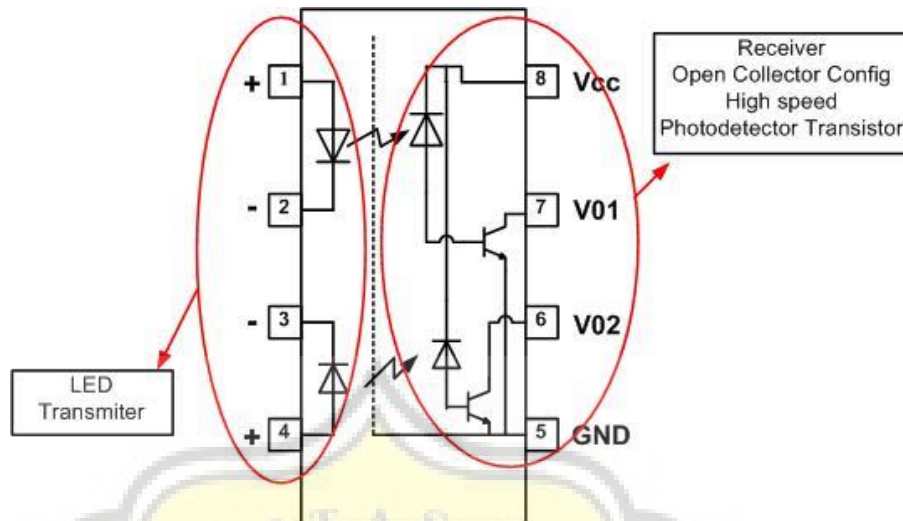
Optocoupler penting dalam aplikasi elektronika daya (*power electronics*) dimana sinyal akan di kirim dari suatu modul ke modul lain secara *isolated*. Optocoupler memanfaatkan transfer data/sinyal dari modul satu ke modul lain dengan prinsip cahaya. HCPL 2531 dibangun dari *AlGaAs LED* yang dipasangkan dengan high speed photodetector transistor. Dalam hal ini optocoupler digunakan

untuk mentransfer data yang dihasilkan oleh dsPIC yang berupa pulsa-pulsa digital yang kemudian diolah oleh IR2132 *3-phase bridge driver*. Pertimbangan pemilihan jenis optocoupler ini sebagai komponen driver karena beberapa spesifikasi utama/penting yang dimiliki antara lain:

Tabel 3.1 Spesifikasi Utama pada HCPL 2531

fitur	Spesifikasi/karakteristik
Kecepatan maksimal transfer data	1 Mbit/s
Rating tegangan kerja	Sampai dengan 30V
Arus rata-rata output	8 Ma
Withstand insulation voltages	2500 Vrms
Jumlah channel	2

Dari spesifikasi dan parameter *optocoupler* jenis ini adalah kecepatan transfer data sampai 1 Mbit/s artinya disini dalam satu detik mampu mentransfer 1 juta data. Setiap data membutuhkan waktu 1 mikro sekon. Hal ini cukup mumpuni untuk menswitching MOSFET yang berfrekuensi tinggi. Hal lain yang menjadi pertimbangan penggunaan optocoupler HCPL adalah arsitektur/konfigurasi *Open Collector* yang compatible dengan *IR 2132 3-Phase Bridge Driver*.



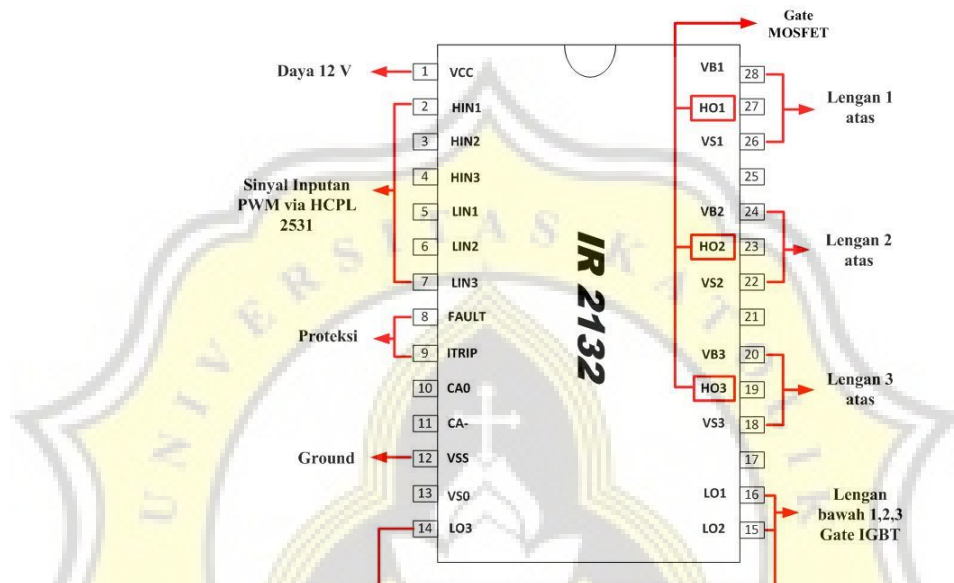
Gambar 3.9 Konfigurasi HCPL 2531

3.4.2 IR 2132 3-Phase Bridge Driver

IR 2132 3-Phase Bridge Driver merupakan *high voltage* dan *high Speed driver* MOSFET atau IGBT yang mempunyai tiga buah konfigurasi lengan keluaran yang saling bebas/terpisah. Alasan penggunaan *chip driver* IR 2132 dipilih untuk menyederhanakan *hardware* rangkaian inverter Tiga Fasa. Pada metode lainnya selalu digunakan TLP250, dengan komponen TLP 250 maka akan diperlukan 6 buah IC TLP250 yang masing-masing IC ini perlu catudaya 12V *independent*, sehingga rangkaian akan rumit, besar dan memerlukan biaya yang tinggi. Metode penggunaan driver IR 2132 sebagai driver rangkaian daya inverter tiga fasa memberikan kelebihan dan keuntungan, antara lain :

- Dicatu oleh catudaya tunggal untuk mensuplai seluruh driver IR2132 yang dapat mengendalikan tiga buah lengan daya/MOSFET.
- Ukuran Layout PCB akan semakin compact/ kecil.
- Pada IC IR 2132 sudah terdapat *deadtime* pada bagian dalamnya.

- Pada IC IR 2132 terdapat system proteksi jika terjadi arus lebih.



Gambar 3.10 Konfigurasi pin dan desain sistim minimum IR2132

Gambar diatas menunjukkan desain dari blok rangkaian dasar sistem minimum dari IR 2132, sinyal PWM yang dibangkitkan oleh dsPIC30F4012 yang di interfacing melalui optocoupler HCPL 2531 di masukkan dalam terminal input logic komplemen IR2132. Sedangkan terminal VB_x , HO_x , VS_x dihubungkan dengan terminal MOSFET (*Gate-Emitor*). Terminal *TRIP* dan *FAULT* digunakan sebagai sistem proteksi.

Spesifikasi lain yang menjadi pertimbangan utama dan dimiliki oleh IR2132 antara lain :

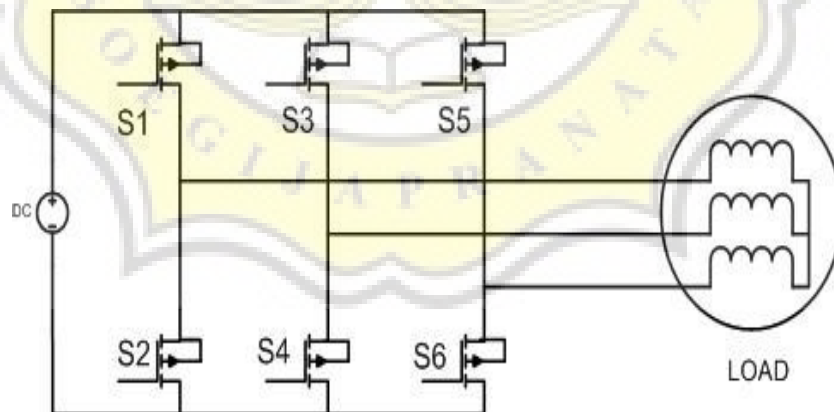
Tabel 3.2 Spesifikasi IR2132

Fitur	Spesifikasi/karakteristik
V off	600 VDC max
Rating tegangan kerja	Sampai dengan 20 V
Tegangan keluaran ke gate	Sampai dengan 20 V
Internal deadtime	0.7 us
proteksi	Overcurrent ITRIP & Undervoltage

(data sheet IR2132)

3.5 Rangkaian Inverter Tiga Fasa

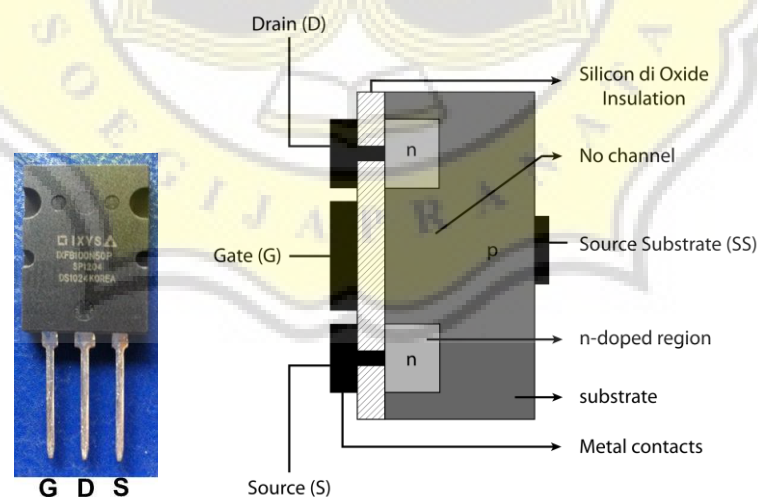
Rangkaian Inverter tiga fasa berfungsi sebagai penghasil arus bolak-balik untuk menghasilkan elektromagnetik yang bertujuan untuk menggerakkan rotor pada Motor Brushless DC, Inverter sendiri adalah rangkaian elektronika yang berfungsi untuk mengkonversi tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC). Rangkaian Inverter Tiga Fasa ini diimplementasikan menggunakan *MOSFET ixfb100N50P*.



Gambar 3.11 Skema Rangkaian Inverter 3-fasa

MOSFET ixfb100N50P

MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) adalah suatu transistor dari bahan semikonduktor (silikon) dengan tingkat konsentrasi ketidakmurnian tertentu. Tingkat ketidakmurnian ini akan menentukan jenis transistor tersebut, yaitu transistor MOSFET tipe-N (NMOS) dan transistor MOSFET tipe-P (PMOS). Bahan silikon digunakan sebagai landasan (*substrat*) dari penguras (*drain*), sumber (*source*), dan gerbang (*gate*). 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. (*teori dasar MOSFET, maulana. <http://maulana.lecture.ub.ac.id>*)



Gambar 3.12 Konfigurasi MOSFET (<https://id.wikipedia.org/wiki/MOSFET>)

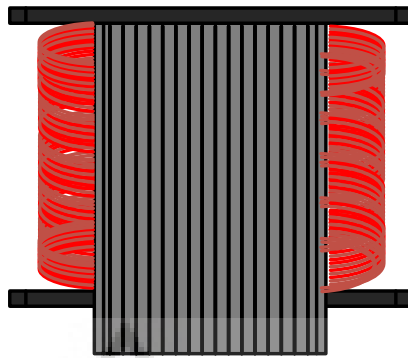
Penggunaan MOSFET *ixfb100N50p* dikarenakan MOSFET ini memiliki tahanan gerbang yang sangat tinggi, keuntungan pada MOSFET ini yaitu membutuhkan daya listrik yang cukup/sangat rendah pada driver dan daya masukan yang tinggi mencapai 500V.

3.6 Sitem Catu Daya/ Power supply

Catudaya yang digunakan untuk *supply* tegangan semua *board hardware* sistem ini adalah menggunakan catudaya *linier*. Desain dari catudaya linier tersebut harus bisa mengatasi persoalan suplai daya dan *level grounding* yang berbeda satu samalain. Berikut diuraikan komponen catudaya *linier* tersebut :

3.6.1 Transfomator Multiwinding

Transformator multiwinding digunakan untuk memberikan suplai tegangan AC dari listrik PLN ke catudaya linier yang selanjutnya digunakan sebagai suplai IC pada rangkaian control dan driver. Transformator yang dibuat berbeda dengan transformator pada umumnya karena sistem ini memerlukan suatu proses isolasi (tidak ada hubungan galvanis) langsung pada sumber catu, hal ini disebabkan level grounding pada board *DSC* dan *board Driver IR2132/HCPL2531* mempunyai level yang berbeda.

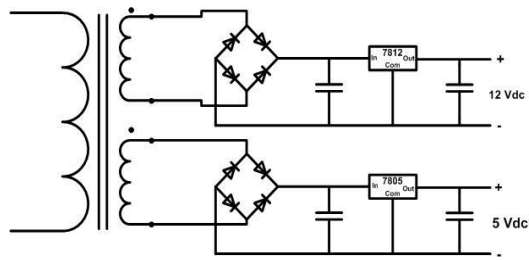


Gambar 3.13 *Transformator Multiwinding sederhana*

Transformator ini memiliki inti besi dan lilitan primer seperti transformator frekuensi rendah lainnya, namun perbedaan terletak pada sistem lilitan sekunder dimana menghasilkan dua buah keluaran yang saling terisolasi. Keluaran tegangan AC (0,12) digunakan sebagai catu untuk regulator IR2132/ HCPL2531, sedangkan tegangan AC (0, 5) digunakan sebagai catu untuk regulator dsPIC. Jumlah lilitan per-volt nya ditentukan dengan perhitungan tergantung pada diameter kawat email yang dipakai, ukuran kern, dan koker.

3.6.2 Linier regulator power supply

Power supply yang digunakan pada sistem adalah *power supply linier*, yang berarti *power supply* ini menggunakan prinsip penyearah yang bekerja pada frekuensi rendah dan tidak digunakannya *High Frequency Transformer* atau menggunakan trafo inti besi biasa. Desain dari *board regulator* harus disesuaikan dengan struktur trafo *multiwinding* yang digunakan.



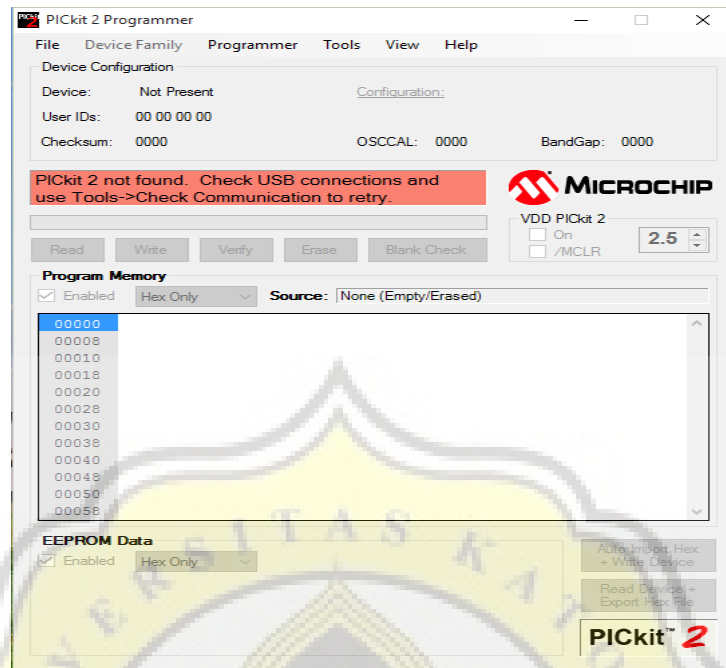
Gambar 3.14 Skema Rangkaian Penyearah Catudaya linier

3.7 Implementasi perangkat lunak dan algoritma program

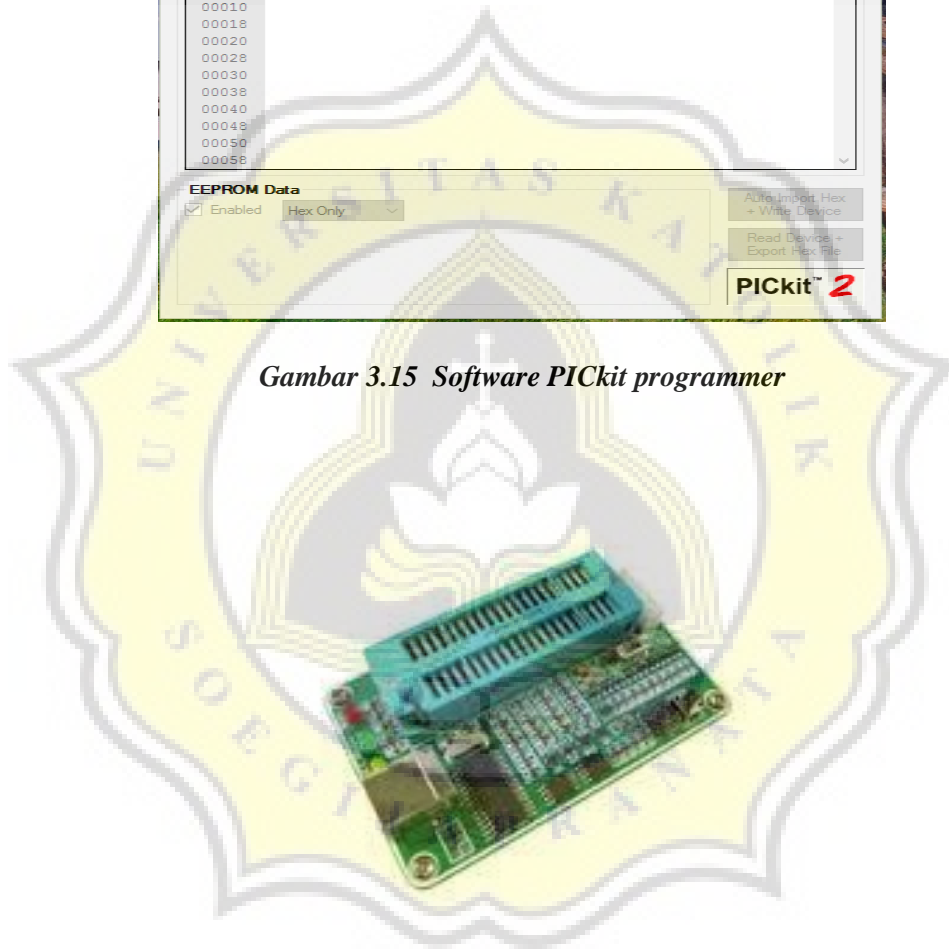
Digital Signal Controller dsPIC30F4012 menggunakan file tipe data *.hex untuk dimasukkan ke dalamnya sesuai algoritma yang diinginkan. Untuk menghasilkan file *.hex, dalam implementasi algoritma pemrograman ini menggunakan bahasa C. alasannya yaitu karena Bahasa C lebih mudah di pelajari dan di pahami dibanding dengan Bahasa pemrograman lain. *Software Compiler* yang digunakan dalam implementasi *listing* Bahasa C ini menggunakan MicroC for dsPIC, keluaran dari *MikroElektronika Corp*. *Software* ini memiliki *user interface* yang lebih sederhana dan struktur Bahasa C yang lebih sederhana dibanding dengan *software* yang lain.

3.7.1 dsPIC programmer/Debugger

dsPIC Programmer digunakan untuk memasukkan algoritma program dengan file ekstension *.hex yang didapat dari C Compiler ke dalam Chip dsPIC30F4012. Disini digunakan PICKit.



Gambar 3.15 Software PICkit programmer

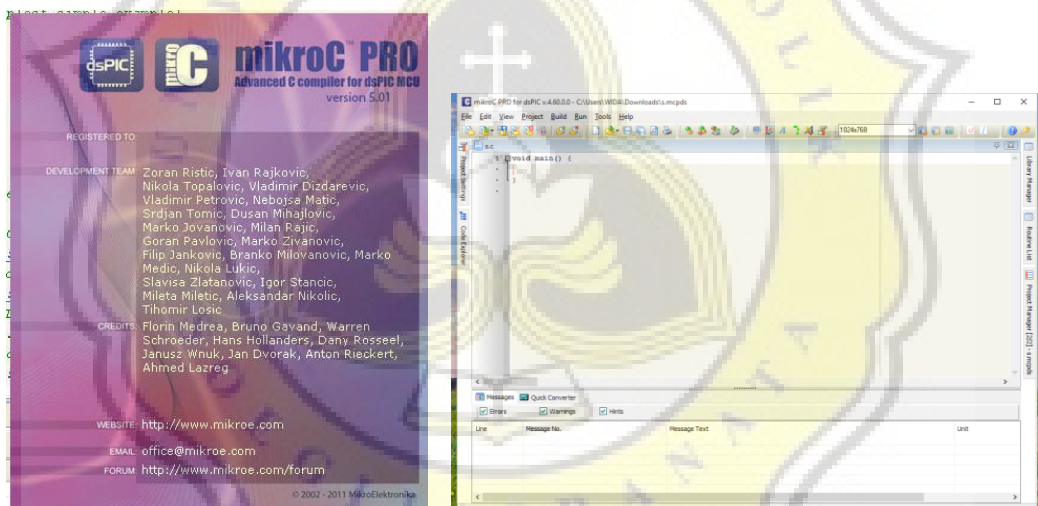


Gambar 3.16 PICkit downloader (www.dhgate.com)

Alasan penggunaan *downloader* jenis ini karena *low cost* jika berhubungan *peripheral* perangkat *downloader* yang digunakan dibandingkan dengan sistem lain yang berbasis *Digital Signal Controller*.

3.7.2 C language Compiler

Bahasa pemrograman tingkat tinggi yang digunakan untuk mengimplementasi algoritma pemrograman ini adalah menggunakan Bahasa pemrograman C. yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah *mikroC for dsPIC* dari *MikroElektronika Corp.* *Compiler* ini memberikan kemudahan terkait *building* dan *debugging program*. *Compiler* ini *support* untuk seluruh *Digital Signal Controller* 16 bit dan 32 bit keluaran *Microchip Corp.* *Compiler* ini dapat berjalan dengan baik dalam sistem operasi *Windows*.

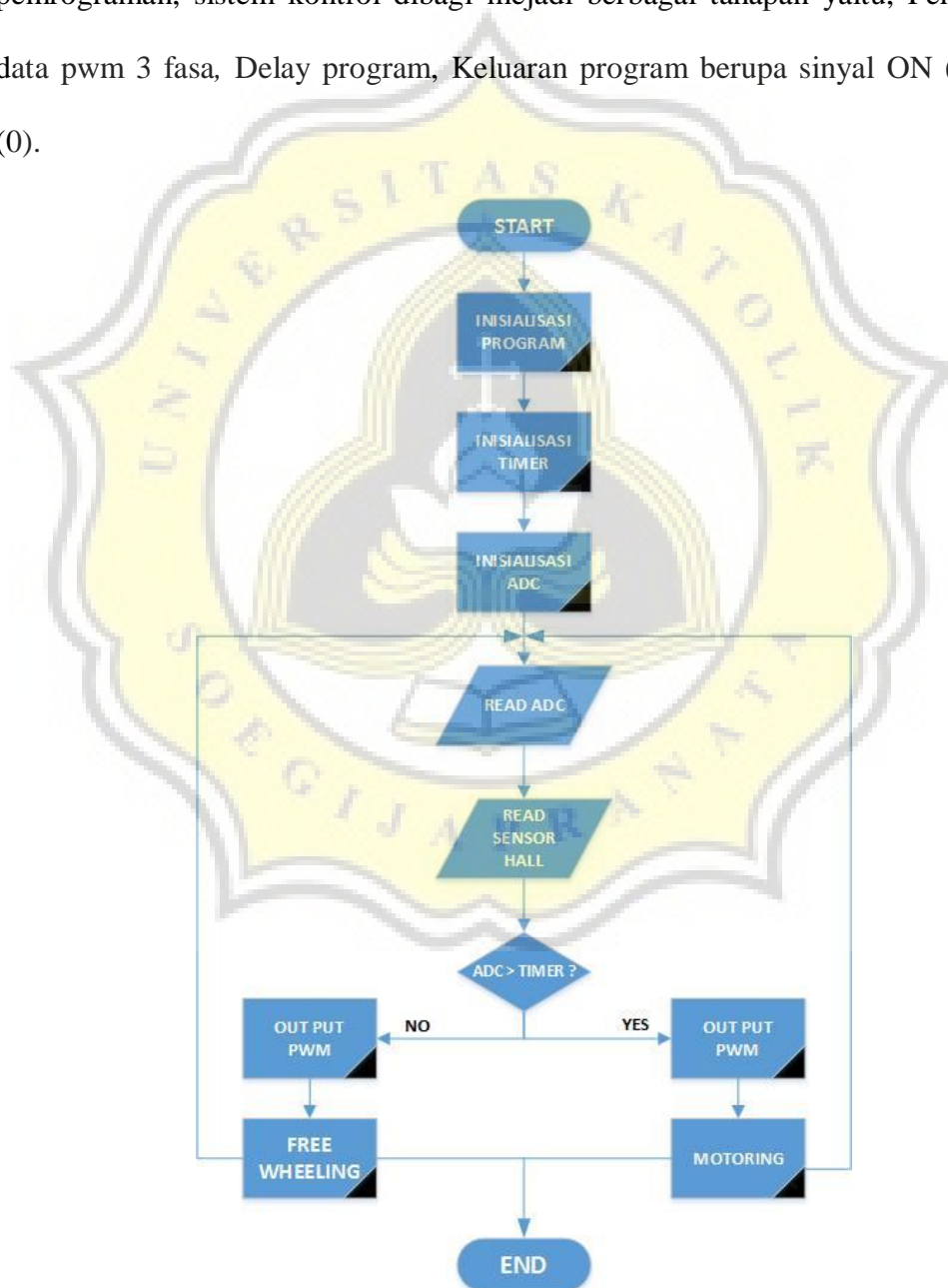


Gambar 3.17 Software mikroC PRO for dsPIC

Struktur Bahasa C didalam *MikroC for dsPIC* terdiri dari *identifier*, *declaration*, *sub program*, dan *main program*. *Compiler* ini memiliki C operator dan beberapa *library* penting yang spesifik dengan register jenis dsPIC yang digunakan. Hal tersebut membuat *software* ini mudah diakses untuk koneksi dengan perangkat *hardware* yang terhubung.

3.8 Pemrograman dsPIC30F4012

Program yang digunakan sebagai kontrol motor BLDC ini, dibuat menggunakan *software mikroC for dsPIC*. Data yang diperoleh diolah dan diprogram dengan menggunakan bahasa program C. Dalam melakukan pemrograman, sistem kontrol dibagi mejadi berbagai tahapan yaitu, Pembacaan data pwm 3 fasa, Delay program, Keluaran program berupa sinyal ON (1) OFF (0).



Gambar 3.18 Flow chart program