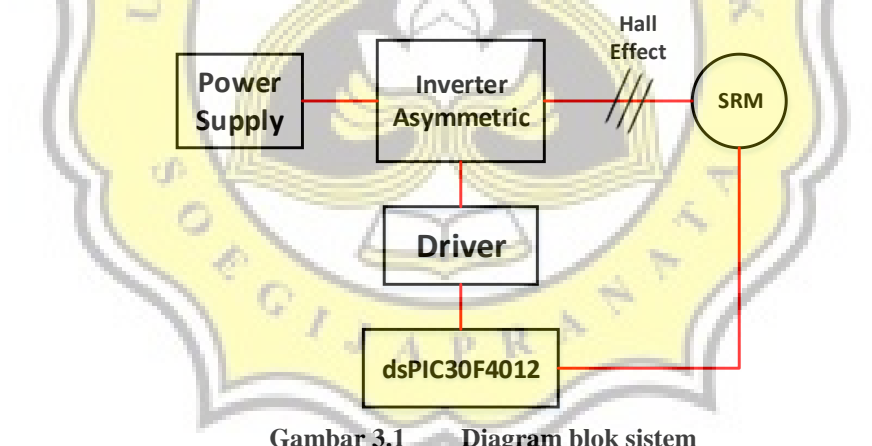


## BAB III

### DESAIN DAN IMPLEMENTASI

#### 3.1 Pendahuluan

Pada tugas akhir ini akan dibahas tentang sistem kontrol dari motor *switched reluctance* tiga fasa dan pengendalian kecepatan menggunakan metode PWM. Kemudian digunakan inverter dengan topologi *asymmetric* yang berfungsi untuk menggerakkan motor *switched reluctance*. Rangkaian kontrol menggunakan dsPIC30F4012. Rangkaian daya yang digunakan adalah modul IGBT Infineon FF100R12KS4, karena menyesuaikan dengan spesifikasi motor *switched reluctance* buatan SLT ini yang membutuhkan tegangan 60 Volt dan arus sebesar 35 Ampere.



Gambar 3.1 Diagram blok sistem

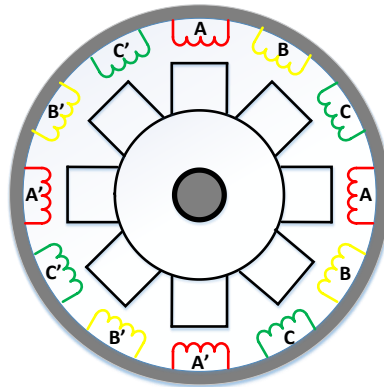
Berdasarkan pada Gambar-3.1 terdapat beberapa blok sistem yaitu : blok *power supply*, blok kontrol yang menggunakan dsPIC30f4012, blok driver yang terdiri dari enam buah TLP250 dan *buffer*, blok rangkaian daya yang terdiri dari enam buah modul IGBT Infineon FF100R12KS4 dan blok beban berupa motor *switched reluctance*. Bagian utama dalam pada Gambar 3.1 ini adalah blok

kontrol yang bekerja mengolah data analog dari potensiometer menjadi data digital (ADC). Di mana blok kontrol akan menerima data posisi rotor dari sensor *hall effect*. Data yang dihasilkan oleh *hall effect* berupa pulsa gelombang kotak.

Data digital di blok kontrol kemudian akan diolah dengan membangkitkan sinyal *carrier* yang dibandingkan dengan sinyal informasi lalu akan muncul sinyal PWM yang akan digunakan pada salah satu saklar pada inverter *asymmetric* melalui driver. Kemudian blok driver akan bertugas mengendalikan saklar pada blok rangkaian daya inverter. Pola pensaklaran pada rangkaian daya inverter berguna untuk memutar rotor dari motor *switched reluctance*.

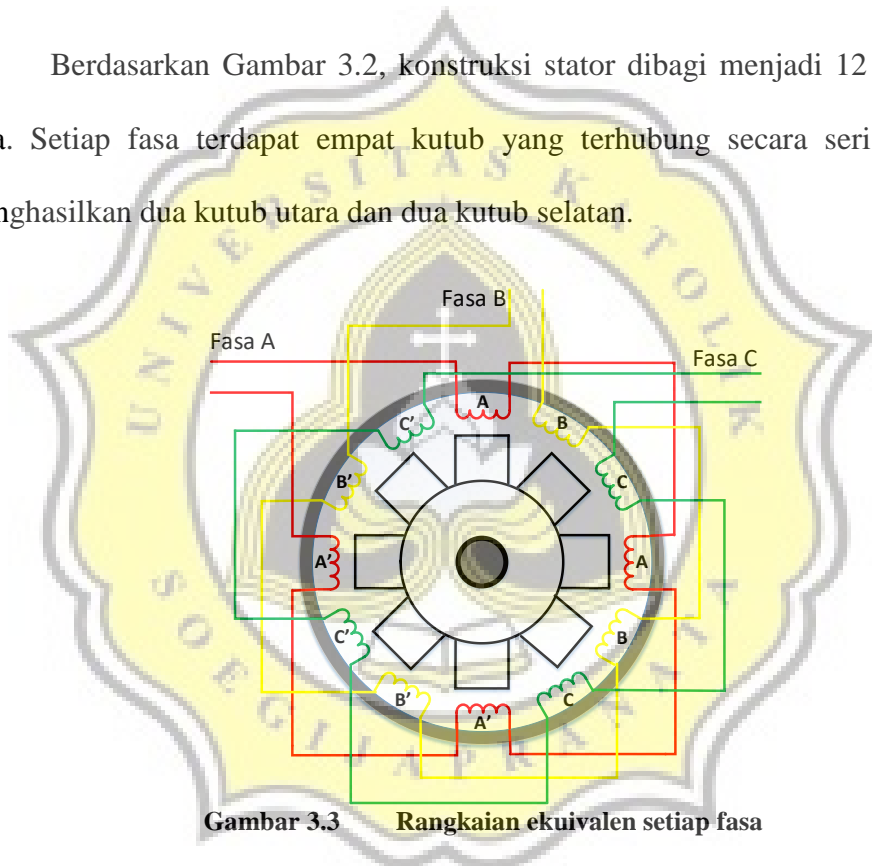
### 3.1.1 Motor Switched Reluctance

Pada tugas akhir ini, penulis menggunakan motor *switched reluctance* produksi SLT yang memiliki konstruksi pada stator terdapat 12 kutub belitan, sedangkan pada bagian rotor tidak memiliki belitan atau magnet permanen, namun terbuat dari delapan inti besi menonjol yang ditumpuk ke poros. Tegangan operasi yang dibutuhkan motor *switched reluctance* ini yaitu 60 Volt, arus 35 Ampere, menghasilkan daya sebesar 1200 Watt, dan kecepatan putaran 10000 RPM tanpa beban. Berikut adalah gambaran konstruksi rotor dan stator dari motor *switched reluctance* ini:



**Gambar 3.2** Konstruksi stator dan rotor SRM

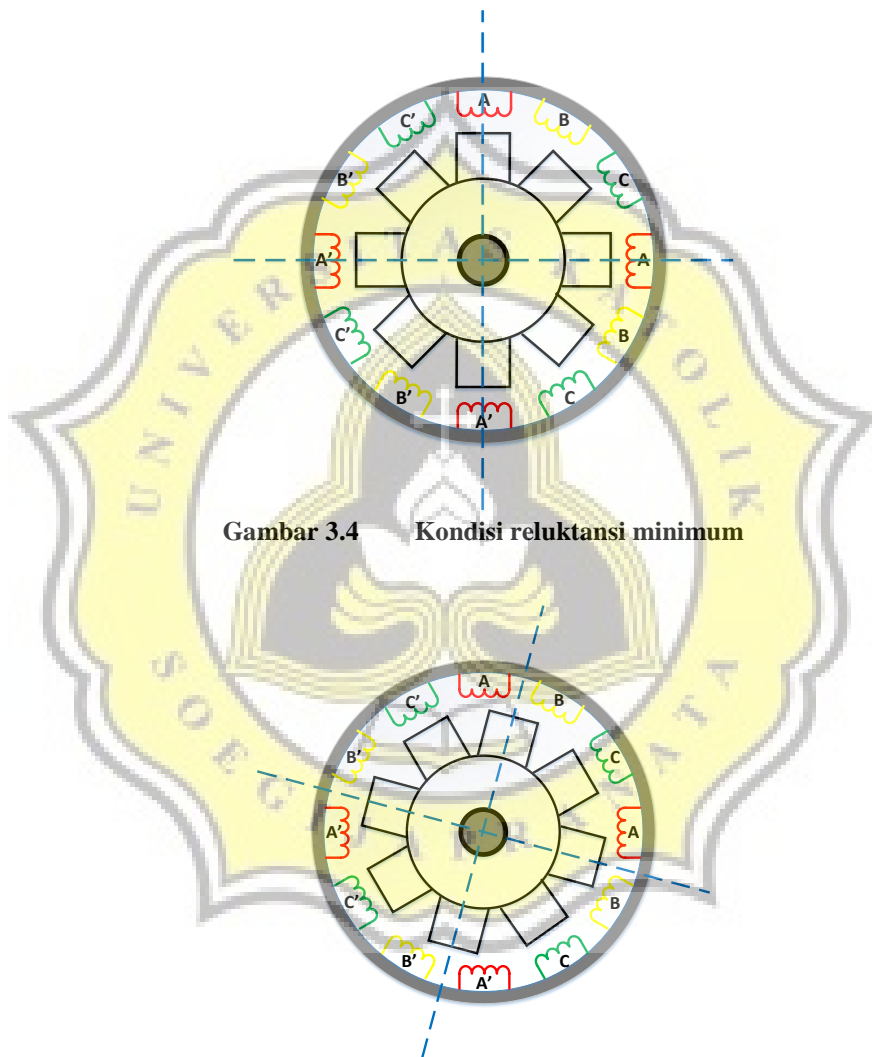
Berdasarkan Gambar 3.2, konstruksi stator dibagi menjadi 12 kutub tiga fasa. Setiap fasa terdapat empat kutub yang terhubung secara seri dan akan menghasilkan dua kutub utara dan dua kutub selatan.



**Gambar 3.3** Rangkaian ekuivalen setiap fasa

Prinsip dasar motor *switched reluctance* didasarkan pada produksi torsi reluktansi. Reluktansi adalah nama untuk resistansi magnetik dalam sirkuit magnetik. Celah udara adalah resistansi magnet terbesar dalam sirkuit magnetik, karena permeabilitas besi jauh lebih tinggi daripada permeabilitas udara. Sehingga, motor *switched reluctance* didesain dengan rotor yang menonjol untuk mereduksi faktor ini. Ketika belitan pada kutub stator teraliri arus, maka akan

muncul medan magnet pada kutub stator tersebut dan rotor terdekat akan berputar ke kutub stator yang memiliki reluktansi minimum. Reluktansi minimum adalah kondisi ketika rotor segaris lurus atau sejajar dengan stator. Sedangkan reluktansi maksimum adalah kondisi ketika rotor tidak segaris lurus atau sejajar dengan stator.

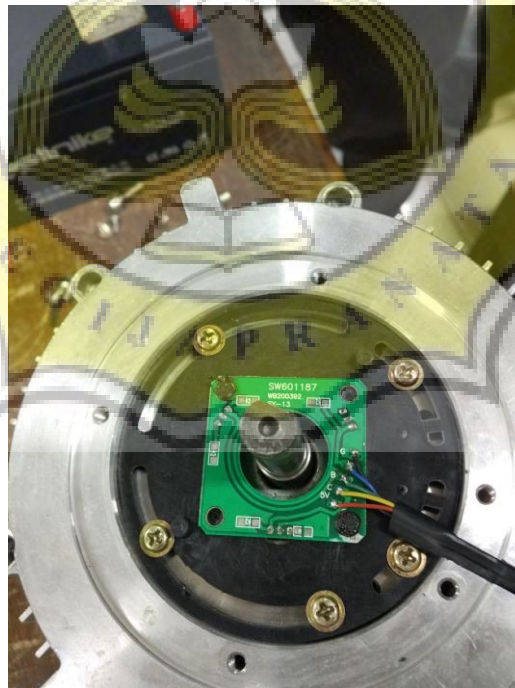


**Gambar 3.4** Kondisi reluktansi minimum

**Gambar 3.5** Kondisi reluktansi maksimum

### 3.1.2 Sensor *Hall Effect*

Sensor *hall effect* pada motor *switched reluctance* yang digunakan dalam motor *switch reluctance* ini bertipe ON-OFF. Fungsi dari sensor *Hall effect* ini digunakan sebagai pendeteksi posisi rotor. Setelah posisi rotor diketahui kemudian akan mengirimkan data ke dsPIC30F4012 untuk kemudian diolah agar dapat mengaktifkan saklar pada inverter. Karena rotor dari motor *switched reluctance* terbuat dari inti besi maka dibutuhkan magnet permanen yang diletakkan pada sisi-sisi rotor untuk mendeteksi posisi rotor. Sensor *hall effect* ini akan aktif ketika terdapat medan magnet dari magnet permanen tersebut. Sensor *hall effect* yang digunakan pada motor *switched reluctance* dalam tugas akhir ini diletakkan di sisi belakang motor dan dapat diatur posisinya. Pada Gambar 3.6 merupakan letak sensor *hall effect* yang berjumlah tiga buah.



Gambar 3.6 PCB sensor *hall effect*

Keterangan :

- a) Kabel merah adalah *supply voltage* sebesar 5 Volt untuk tegangan operasi sensor *hall effect*.
- b) Kabel hijau, biru, dan kuning adalah data keluaran hasil deteksi dari sensor *hall effect* sebanyak tiga buah berupa logika 0 atau 1, di mana 0 merupakan kondisi OFF dan 1 merupakan kondisi ON.
- c) Kabel hitam adalahn ground untuk sensor *hall effect*.

### 3.2 Rangkaian Kontrol

Rangkaian kontrol untuk motor *switched reluctance* ini menggunakan *Digital Signal Controller* dsPIC30F4012 sebagai sistem kontrol digital. Kemudian rangkaian kontrol terhubung dengan rangkaian daya yang menggunakan enam buah modul IGBT infineon FF100R12KS4, sebagai saklar cepat untuk mengaktifkan stator pada motor *switch reluctance* secara bergantian. Rangkaian driver terdiri dari *optocoupler* TLP250 dan *buffer* 74HC541N yang berfungsi untuk melakukan pensaklaran pada modul IGBT. Selain melakukan pensaklaran, rangkaian driver ini juga berfungsi sebagai pengaman antara rangkaian kontrol dengan rangkaian daya. Dalam rangkaian catu daya, menggunakan IC regulator 7805 yang berfungsi sebagai pembatas tegangan dengan *output* 5V dan *DC-DC isolated* 12V.

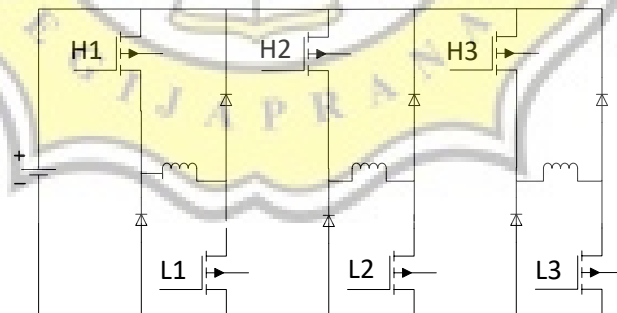
### 3.3 Rangkaian Inverter

Fungsi inverter sangat penting dalam pengoperasian motor *switched reluctance*, yaitu sebagai saklar cepat dan berfungsi untuk mengalirkan arus pada

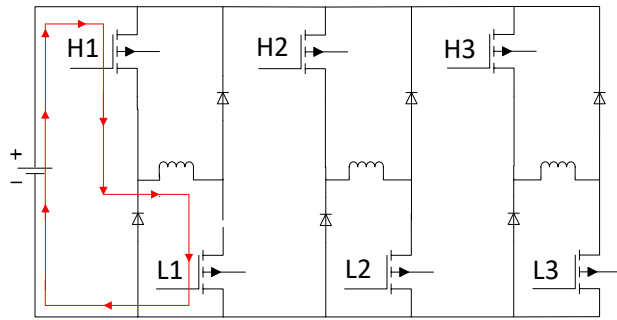
stator. Stator dalam motor *switched reluctance* memiliki sifat elektromagnetis, di mana belitan akan menghasilkan medan magnet ketika dialiri arus listrik.

Pada motor *switched reluctance*, inverter topologi *asymmetric* atau dapat juga disebut inverter tiga fasa berfungsi untuk mengaktifkan pensaklaran sesuai dengan pola pensaklaran yang dihasilkan oleh rangkaian kontrol. Selain itu inverter *asymmetric* ini juga harus sesuai dengan tegangan dan besarnya arus yang dibutuhkan oleh motor *switched reluctance*. Pada dasarnya inverter tiga fasa dan inverter satu fasa adalah sama, namun *output* dari inverter tiga fasa berupa tiga gelombang sinusoidal yang saling bergeser  $120^\circ$ .

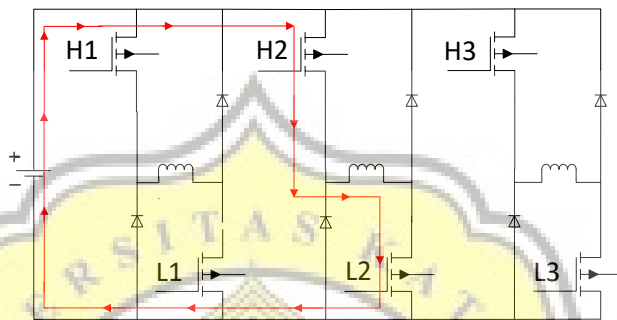
Pada Gambar 3.7 merupakan inverter bertopologi *asymmetric* yang terdapat enam saklar statis. Sistem kerja dari inverter ini seperti ditunjukkan Gambar 3.8, Gambar 3.9 dan Gambar 3.10 Saat saklar H dan L aktif maka arus akan mengalir pada belitan, proses ini disebut *magnetizing*. Kemudian, ketika saklar H dan L tidak aktif maka arus akan mengalir melalui dioda dan pada proses ini disebut proses *demagnetizing*.



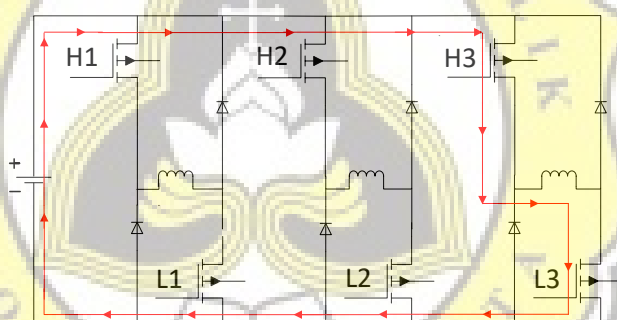
**Gambar 3.7** Inverter topologi *asymmetric*



Gambar 3.8 Proses *magnetizing* ketika saklar H1 dan L1 ON



Gambar 3.9 Proses *magnetizing* ketika saklar H2 dan L2 ON



Gambar 3.10 Proses *magnetizing* ketika saklar H3 dan L3 ON

Pensaklaran pada inverter *asymmetric* ini saling berkaitan dengan posisi rotor yang terdeteksi oleh sensor *hall effect*. Pada Tabel 3.2 berikut merupakan konfigurasi antara sensor *hall effect* dengan pola pensaklaran pada inverter *asymmetric*.

Tabel 3.1 Konfigurasi sensor *hall effect* dengan pensaklaran inverter

Hall Effect	H1	H2	H3	L1	L2	L3
010	1	0	0	1	0	0
001	0	1	0	0	1	0
100	0	0	1	0	0	1

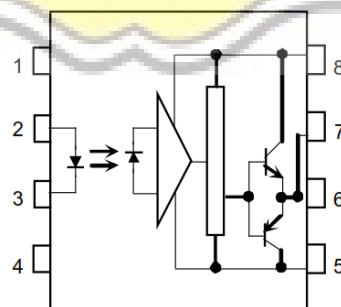


Inverter yang diaplikasikan dalam tugas akhir ini menggunakan enam modul IGBT infineon FF100R12KS4 sebagai saklar statis. Pada modul IGBT infineon FF100R12KS4 ini terdapat dua saklar pada bagian dalamnya, tetapi hanya satu saklar yang digunakan sebagai saklar statis dan saklar lainnya hanya difungsikan sebagai dioda.

### 3.4 Rangkaian Driver

Fungsi rangkaian driver dalam alat ini yaitu sebagai penghubung sekaligus pengaman untuk rangkaian kontrol dan rangkaian daya. Dalam rangkaian driver ini terdapat enam buah IC *optocoupler* TLP250 dan sebuah IC *buffer* 74HC541N. IC *buffer* dalam rangkaian ini berfungsi sebagai penguat supaya keluaran dari dsPIC30f4012 tidak terjadi *drop* tegangan sekaligus sebagai proteksi DSC jika terjadi *feed back* dari driver sehingga proses pensaklaran pada driver selalu optimal.

Dalam operasinya, IC *optocoupler* TLP250 membutuhkan tegangan input sebesar 12 Volt DC. IC *optocoupler* TLP250 memiliki 8 pin yang difungsikan sebagai berikut:



Gambar 3.11 Gambar rangkaian *optocoupler* TLP250

Keterangan :

- a) Pin 1 dan 4 tidak difungsikan
- b) Pin 2 sebagai masukan PWM
- c) Pin 3 sebagai ground dari masukan PWM
- d) Pin 8 sebagai masukanan catu daya (+12V)
- e) Pin 5 sebagai ground catu daya
- f) Pin 6 dan 7 sebagai keluaran PWM

Proses pensaklaran dari IC *optocoupler* TLP250 diawali dari hasil sinyal PWM yang dihasilkan dsPIC30f4012 kemudian melalui *buffer* dan menuju *optocoupler* TLP250 melalui resistor yang memiliki fungsi sebagai tahanan arus masukan pada *optocoupler*. Kemudian IC *optocoupler* TLP250 akan menghasilkan sinyal keluaran yang sama seperti sinyal PWM pada dsPIC30f4012 dengan tegangan yang sudah dikuatkan menjadi 12 Volt untuk mengaktifkan pola pensaklaran pada modul IGBT infineon FF100R12KS4.

### 3.5 Rangkaian Catu Daya

Rangkaian catu daya merupakan bagian yang penting dalam piranti elektronik, karena berfungsi sebagai sumber listrik. Rangkaian catu daya dari alat ini terdapat empat buah DC-DC isolated dan sebuah IC regulator 7805. Sistem kerja rangkaian catu daya ini diawali dari sumber tegangan berupa aki 12 Volt, kemudian arus melalui empat buah DC-DC isolated 12 Volt yang berfungsi untuk mengkonversikan daya elektrik bentuk dc (searah) ke bentuk dc lainnya. Lalu IC regulator 7805 berfungsi untuk membatasi tegangan keluaran sebesar 5 Volt, sebagai *supply* rangkaian kontrol.

### 3.6 Perancangan Rangkaian Sistem Kontrol Digital

Sistem kontrol yang digunakan untuk mengendalikan motor *switched reluctance* dalam alat ini berbasis kontrol digital. Proses pemrograman untuk dsPIC30f4012 menggunakan bantuan perangkat lunak *mikroC for dsPIC*. Perangkat lunak *mikroC* ini menggunakan bahasa C sebagai bahasa pemrograman yang selanjutnya program akan di *input* ke dalam dsPIC30f4012.

Mengubah *timing* pensaklaran pada IGBT mempengaruhi bentuk dan besar gelombang arus sehingga mempengaruhi kecepatan motor *switched reluctance*. Tegangan pada motor *switched reluctance* tetap konstan meskipun kecepatannya rendah.

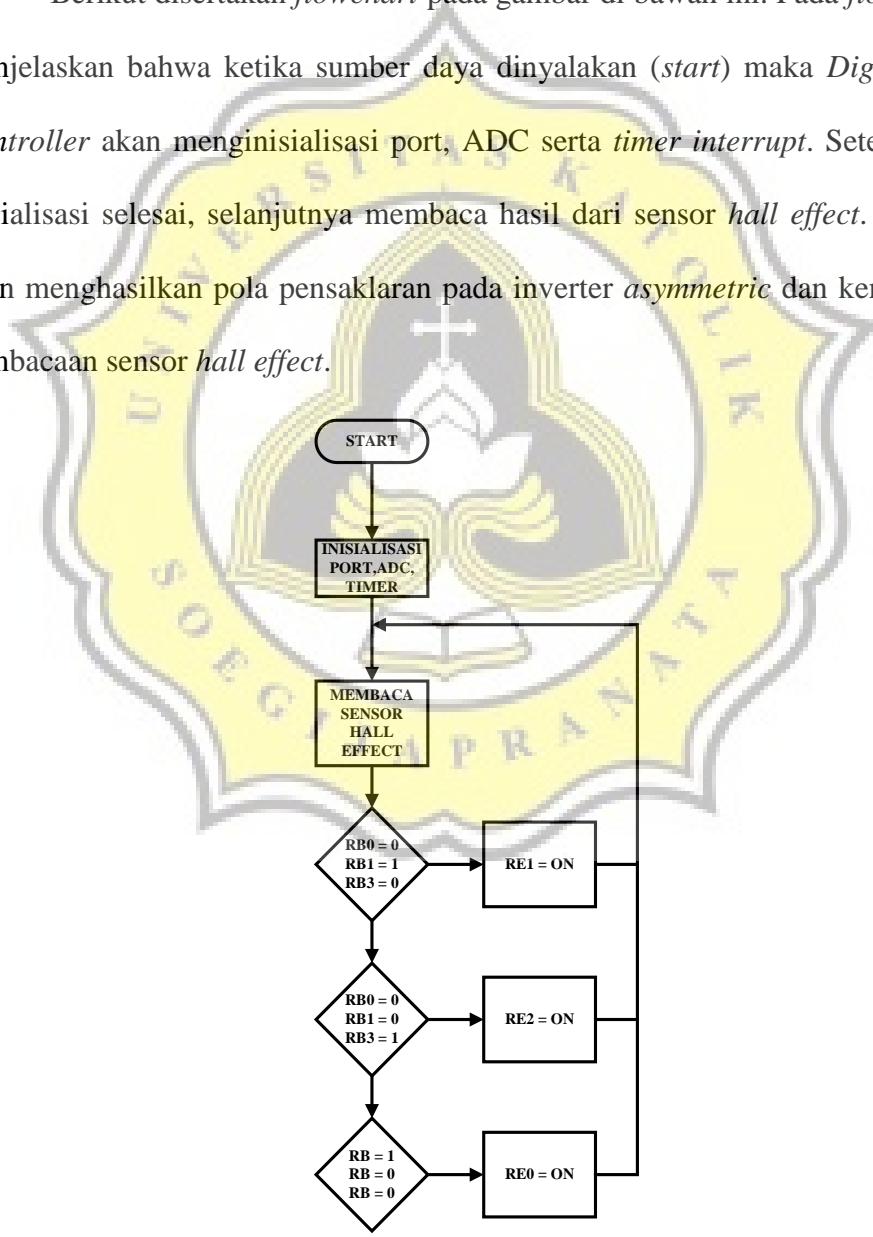
### 3.7 Algoritma Pemrograman dsPIC30F4012

Pemilihan dsPIC30f4012 sebagai kontrol inverter topologi *asymmetric* yaitu selain memiliki lebar data 16bit, dsPIC30f4012 ini juga mampu merespon dengan kecepatan yang tinggi. Pemrograman dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *mikroC for dsPIC*. Data yang di *input* ke dalam dsPIC30f4012 berupa program bahasa C. Dalam melakukan pemrograman, blok kontrol dibagi dalam 3 tahapan yaitu pembacaan sensor *hall effect*, pengolahan data dari sensor *hall effect*, kemudian keluaran dari dsPIC30f4012 berupa sinyal digital 1 (ON) dan 0 (OFF)

Pemrograman dilakukan dengan mengatur bit pada register ADC lalu disesuaikan dengan port masukan ADC. Kemudian menggunakan fungsi *timer interrupt* yang berfungsi untuk membangkitkan sinyal segitiga dan dikomparasikan dengan sinyal *carrier*. Setelah mengatur *time interrupt*, langkah

selanjutnya adalah memasukan data sensor *hall effect*. Dari sensor *hall effect* berisi data posisi dari rotor pada motor *switched reluctance*. Tahap akhir dalam pemrograman ini adalah proses *magnetizing* pada motor *switched reluctance*. Sehingga *Digital Signal Controller* akan menghasilkan pola pensaklaran yang digunakan untuk menentukan saklar yang harus ON atau OFF pada rangkaian inverter.

Berikut disertakan *flowchart* pada gambar di bawah ini. Pada *flowchart* ini menjelaskan bahwa ketika sumber daya dinyalakan (*start*) maka *Digital Signal Controller* akan menginisialisasi port, ADC serta *timer interrupt*. Setelah proses inialisasi selesai, selanjutnya membaca hasil dari sensor *hall effect*. Kemudian akan menghasilkan pola pensaklaran pada inverter *asymmetric* dan kembali pada pembacaan sensor *hall effect*.



Gambar 3.12 Flowchart pemrograman