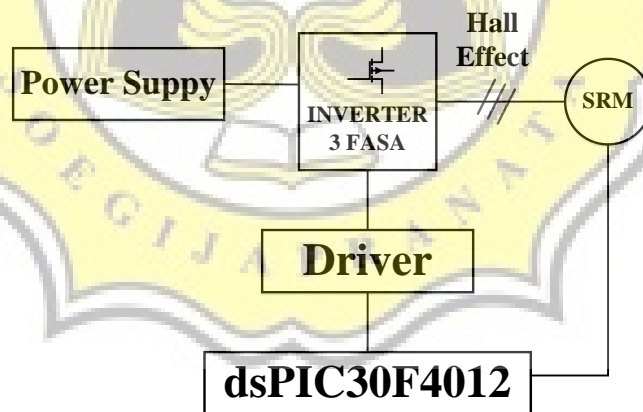


BAB III

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM KONTROL MOTOR *SWITCHED RELUCTANCE*

3.1 Pendahuluan

Pada tugas akhir akan membahas tentang sistem kontrol dari motor *Switched Reluctance* tiga fasa ini. Motor *Switched Reluctance* menggunakan motor buatan SLT yang memiliki daya 1.2 kW pada 4800 RPM. Lalu inverter tiga fasa yang berfungsi untuk menggerakkan motor *Switched Reluctance*. Untuk rangkaian kontrol menggunakan dsPIC30F4012. Rangkaian daya menggunakan Modul IGBT Infineon FF100R12KS4, karena motor *Switched Reluctance* buatan SLT ini 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 catu daya, 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

SRM buatan SLT. Bagian utama dalam pada Gambar-3.1 ini adalah blok kontrol. Blok kontrol disini bertugas untuk menerima data dari potensiometer. Kemudian data analog dari potensiometer tersebut diolah menjadi data digital (ADC)

Setelah itu data digital di blok kontrol akan diolah dengan membandingkan keluaran dari sensor hall effect dengan data yang ada di *Digital Signal Controller*, untuk menghasilkan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*). Sinyal PWM yang dihasilkan dari blok kontrol akan dihubungkan ke blok driver. Kemudian blok driver akan melakukan tugas untuk mengendalikan saklar pada blok rangkaian daya. Pola pensaklaran pada rangkaian daya berguna untuk menggerakkan motor *Switched Reluctance*.

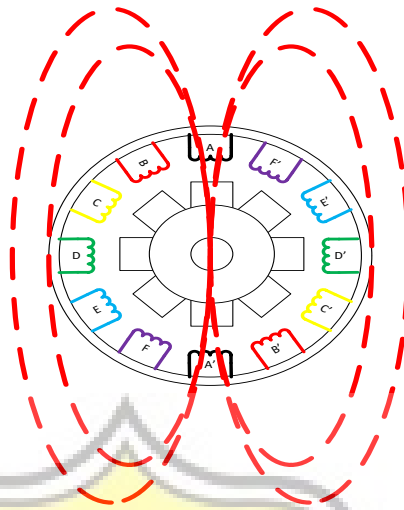
3.1.1 *Switched Reluctance Motor* SLT

Pada tugas akhir ini, penulis menggunakan *Switched Reluctance Motor* buatan SLT. Motor *Switched Reluctance* ini membutuhkan tegangan 60 Volt dan arus maksimal 35 Ampere. Berikut Gambar dari konstruksi rotor dan stator dari motor *Switched Reluctance* buatan SLT ini:

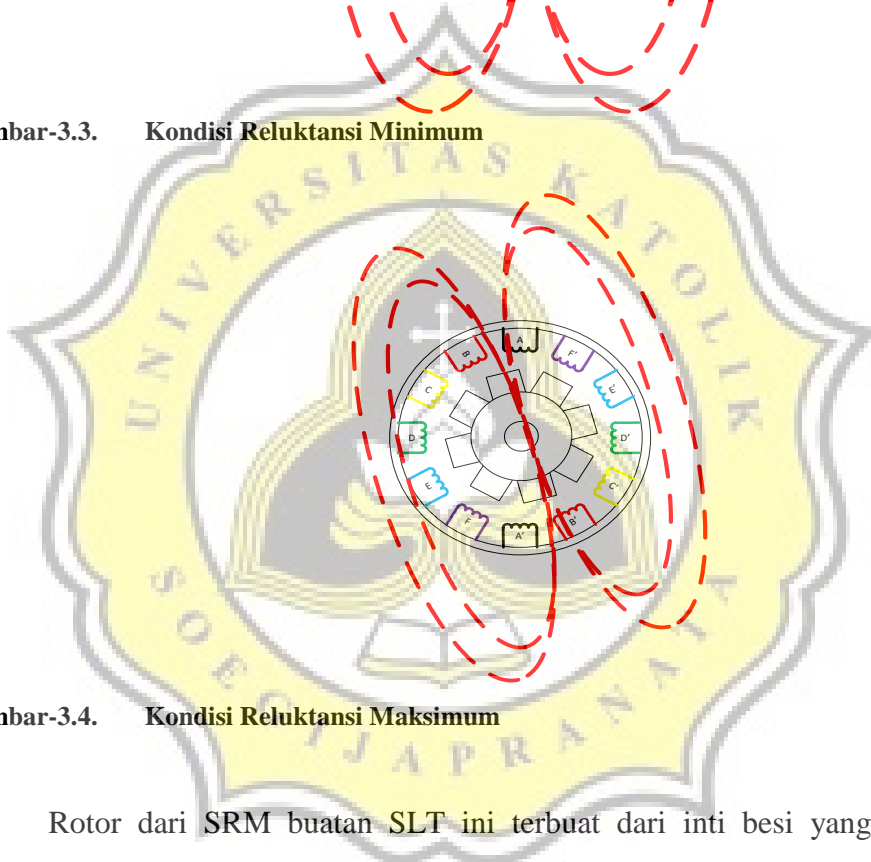


Gambar-3.2 Konstruksi stator dan rotor SRM buatan SLT

Pada saat kumparan pada kutub stator dihubungkan oleh sumber tegangan, maka tercipta medan magnet di kutub stator tersebut. Lalu setelah itu kutub rotor akan berputar menuju ke kutub stator yang memiliki nilai reluktansi minimum. Ketika kutub pada stator dan rotor tidak segaris lurus itu adalah kondisi di mana nilai reluktansi maksimum. Karena proses tersebut yang menyebabkan rotor dapat berputar. Konstruksi antara stator dan rotor tidak boleh sama jumlahnya, hal itu bertujuan agar tidak terjadi posisi statis di mana rotor diam tidak bergerak. Posisi statis menyebabkan motor tidak dapat menghasilkan torsi awal (*initial torque*).



Gambar-3.3. Kondisi Reluktansi Minimum



Gambar-3.4. Kondisi Reluktansi Maksimum

Rotor dari SRM buatan SLT ini terbuat dari inti besi yang di desain pabriknya sedemikian rupa sehingga menjadi rotor ideal untuk SRM. Lalu kutub statornya masing-masing dibelit oleh kawat tembaga yang sesuai untuk mengalirkan arus 35 Ampere. Jumlah dari kutub rotor SRM ini berjumlah delapan buah dan kutub stator nya berjumlah 12 buah. Berikut spesifikasi motor SRM buatan SLT yang dipakai penulis :

Tabel-3.1. Spesifikasi motor *Switched Reluctance* buatan SLT

<i>Power</i>	1200W
<i>Rated Voltage (V)</i>	60
<i>Rated Speed (RPM)</i>	4800
<i>Noload Speed (RPM)</i>	10000
<i>Torque (Nm)</i>	3
<i>Rated Current (A)</i>	35
<i>Noload Current (A)</i>	16
<i>Max Efficiency</i>	83%

3.1.2 Sensor *Hall Effect*

Sensor *Hall effect* dibutuhkan pada motor *Switched Reluctance* karena sensor ini memiliki fungsi untuk mendeteksi posisi rotor. Posisi rotor inilah yang akan digunakan sebagai acuan agar dapat mengaktifkan saklar pada inverter. Karena rotor dari motor *Switched Reluctance* terbuat dari inti besi maka dibutuhkan magnet yang diletakkan pada sisi-sisi motor. Lalu sensor *hall effect* akan aktif jika terkena magnet ini. Sensor *hall effect* pada motor *Switched Reluctance* buatan SLT ini diletakkan di sisi belakang motor dan telat diatur posisinya sedemikian rupa oleh pabrik agar posisinya tepat. Gambar-3.6 merupakan letak sensor *hall effect* dari sisi belakang yang berjumlah tiga buah, akan tetapi penulis tidak bisa menampilkan sensor *hall effect* dari sisi depan karena posisi sensor tersebut telah diatur sesuai ketentuan pabrik. Sensor *hall effect* pada motor *Switched Reluctance* buatan SLT ini bertipe ON-OFF.



Gambar-3.5. PCB sensor Hall Effect sisi luar

Keterangan :

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

3.2 Rangkaian Kontrol

Rangkaian kontrol untuk motor *Switched Reluctance* buatan SLT ini menggunakan *Digital Signal Controller* dsPIC30F4012 sebagai sistem kontrol digital. Rangkaian daya memakai enam buah modul IGBT infineon FF100R12KS4, sebagai saklar cepat untuk mengaktifkan stator pada motor *Switch Reluctance*. Lalu rangkaian driver yang terdiri dari *optocoupler* TLP250 dan buffer 74HC541N, yang memiliki fungsi untuk melakukan pensaklaran pada

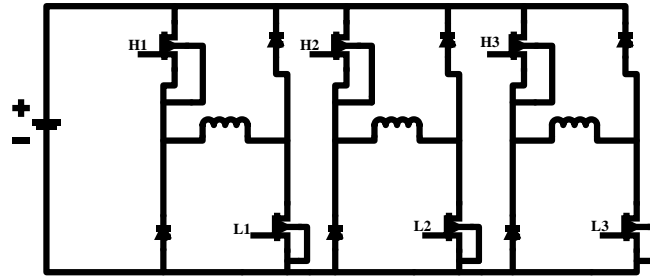
IGBT dan sebagai pengaman antara rangkaian kontrol dan rangkaian daya . Rangkaian itu daya menggunakan sebuah IC 7805 dan *DC-DC isolated* 12V.

3.3 Rangkaian Inverter

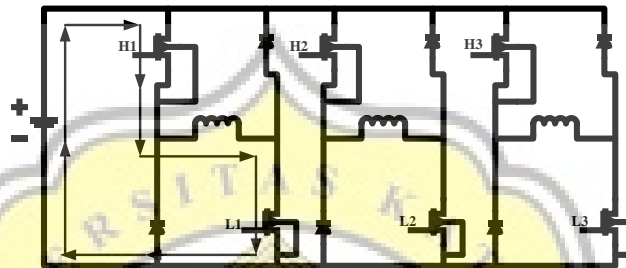
Dalam pengoperasian motor *Switched Reluctance*, fungsi inverter sangat penting sebagai saklar cepat dan berfungsi untuk mengalirkan arus pada stator. Stator dari motor ini bersifat elektromagnet, di mana akan menjadi magnet ketika dialiri arus listrik. Karena stator dalam motor ini terbuat dari belitan.

Inverter tiga fasa pada motor *Switched Reluctance* bertugas untuk memicu pensaklaran sesuai dengan pola pensaklaran yang dihasilkan oleh rangkaian kontrol. Selain itu inverter tiga fasa ini juga harus mampu bertahan dari tegangan dan besarnya arus yang dibutuhkan motor *Switched Reluctance*. Inverter tiga fasa dan inverter satu fasa pada dasarnya sama, hanya keluaran dari inverter tiga fasa berupa tiga gelombang sinusoida yang saling bergeser 120° .

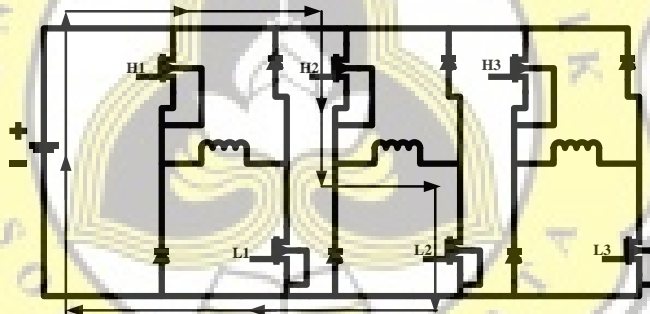
Pada Gambar-3.6 merupakan inverter tiga fasa yang memiliki enam saklar statis. Cara kerja dari inverter ini seperti Gambar-3.7., Gambar-3.8. dan Gambar-3.9. ketika saklar H dan L ON maka tegangan akan mengalirkan arus pada belitan, proses ini dinamakan *magnetizing*. Kemudian, ketika saklar H dan L OFF maka terjadi proses *demagnetizing* seperti Gambar-3.10, Gambar-3.11 dan Gambar-3.12.



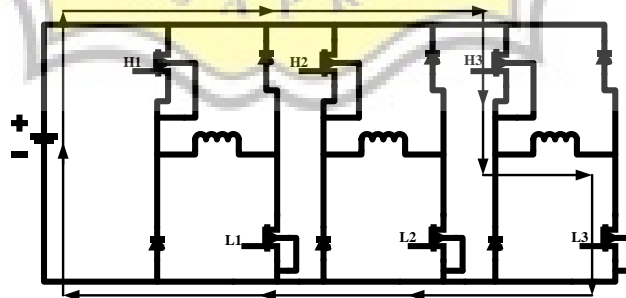
Gambar-3.6. Inverter Tiga Fasa



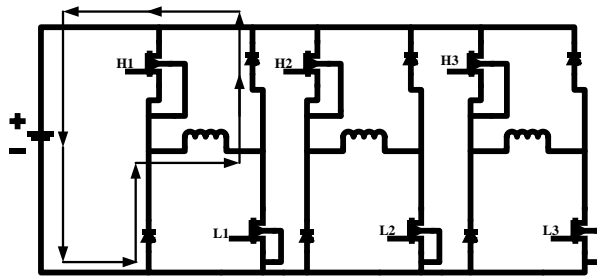
Gambar-3.7. Proses *magnetizing* ketika saklar H1&L1 ON



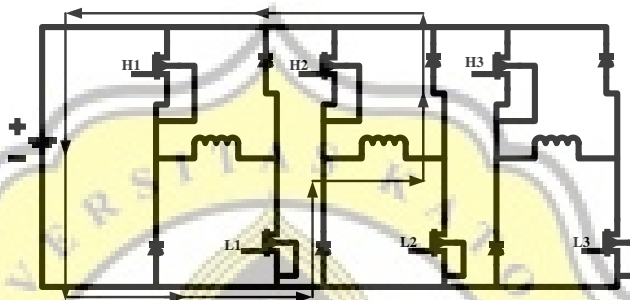
Gambar-3.8. Proses *magnetizing* ketika saklar H2&L2 ON



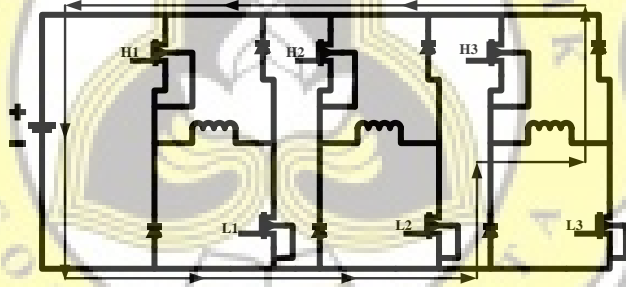
Gambar-3.9. Proses *magnetizing* ketika saklar H3&L3 ON



Gambar-3.10. Proses *demagnetizing* ketika saklar H1&L1 OFF



Gambar-3.11. Proses *demagnetizing* ketika saklar H2&L2 OFF



Gambar-3.12. Proses *demagnetizing* ketika saklar H3&L3 OFF

Pola pensaklaran inverter tiga fasa bergantung pada posisi rotor yang terdeteksi oleh sensor *Hall Effect*. Berikut Tabel-3.2. pola pensaklaran pada inverter tiga fasa.

Tabel-3.2. Pola pensaklaran inverter tiga fasa

<i>Hall Effect</i>	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

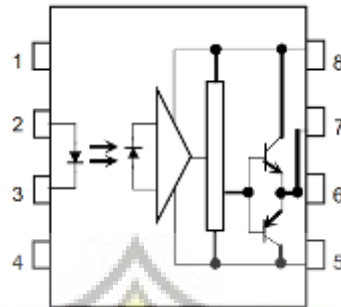
Pada aplikasinya, inverter ini menggunakan enam buah modul IGBT infineon FF100R12KS4 sebagai saklar statis. Modul IGBT infineon FF100R12KS4 memiliki dua saklar pada desainnya, akan tetapi hanya sebuah saklar yang difungsikan sebagai saklar statis, sedangkan saklar lainnya berfungsi sebagai dioda saja.

3.4 Rangkaian Driver

Rangkaian driver berfungsi sebagai penghubung sekaligus pengaman antara rangkaian kontrol dan rangkaian daya. Pada rangkaian driver terdapat enam buah TLP250 dan sebuah buffer 74HC541N. Buffer di dalam rangkaian ini berfungsi sebagai penyangga agar keluaran dari dsPIC30f4012 tidak terjadi penurunan tegangan, agar proses pensaklaran pada driver selalu optimal.

Optocoupler TLP250 memerlukan tegangan +12 Volt untuk beroperasi. Pada kaki nomor 8 berfungsi sebagai +V_{DD} dan kaki nomor 5 berfungsi sebagai ground catu daya. Kaki nomor 2 berfungsi untuk menerima masukanan sinyal positif dan kaki nomor 3 berfungsi sebagai ground pada masukanan sinyal. Hasil sinyal lalu dikeluarkan melalui kaki nomor 6 dan 7. Proses pensaklaran dari TLP250 diawali dari hasil sinyal PWM yang dihasilkan dsPIC30f4012 kemudian dilewatkan ke buffer lalu menuju *optocoupler* TLP250 melalui resistor, yang berfungsi sebagai penghambat arus masukan pada *optocoupler*. Lalu TLP250 akan mengeluarkan sinyal yang sama seperti sinyal PWM pada dsPIC30f4012, tetapi tegangannya sudah dinaikkan menjadi 12 Volt untuk mengaktifkan pola

pensaklaran pada modul IGBT infineon FF100R12KS4. Berikut gambar rangkaian *optocoupler* TLP250 :



Gambar-3.13. 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

3.5 Rangkaian Catu Daya

Catu daya adalah salah satu bagian yang penting dalam elektronika, karena fungsinya sebagai sumber listrik contohnya pada aki dan baterai. Rangkaian catu daya ini terdiri dari empat buah DC-DC isolated dan sebuah 7805. Cara kerja di dalam rangkaian catu daya ini diawali dari sumber tegangan berupa aki 12 Volt, lalu arus melalui empat buah DC-DC isolated 12 Volt dan IC 7805. Arus keluaran

dari empat DC-DC *isolated* 12 Volt untuk memberi daya pada rangkaian driver, lalu arus keluaran IC 7805 untuk mensupply rangkaian kontrol.

3.6 Perancangan Rangkaian Sistem Kontrol Digital

Sistem kontrol yang akan digunakan untuk mengendalikan motor *Switched Reluctance* buatan SLT ini menggunakan kontrol digital. Proses pemograman untuk dsPIC30f4012 dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *mikroC for dsPIC*. Dalam perangkat lunak *mikroC* ini menggunakan bahasa C sebagai bahasa pemograman yang selanjutnya akan dimasukkan ke dalam dsPIC30f4012.

Mengatur waktu pensaklaran pada IGBT, mempengaruhi bentuk dan besar gelombang arus, dan hasil perubahan tersebut mempengaruhi kecepatan yang dihasilkan SRM. Tegangan pada motor *Switched Reluctance* akan tetap walaupun kecepatannya rendah.

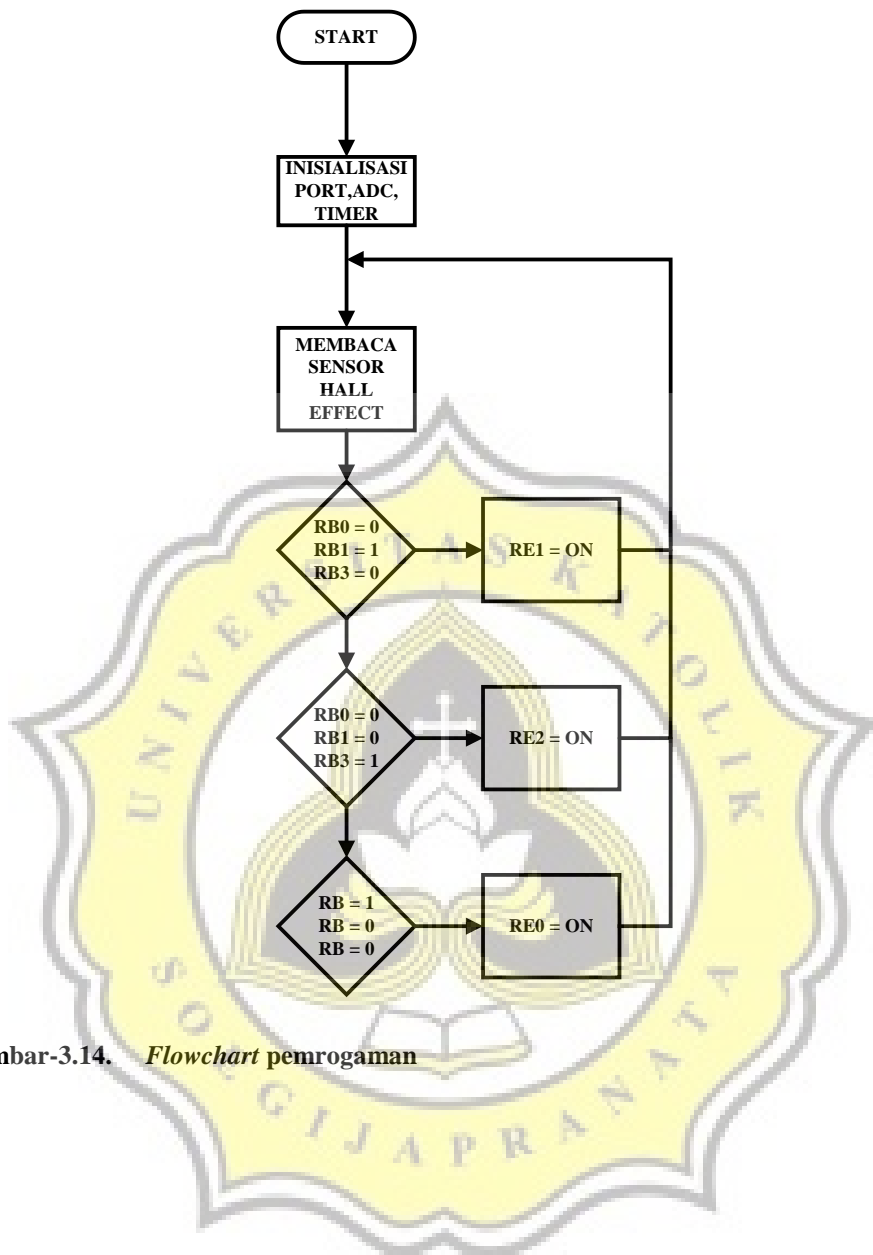
3.7 Pemograman dsPIC30F4012

dsPIC30F4012 merupakan komponen utama dalam *Digital Signal Controller*. dsPIC30f4012 dipilih sebagai kontrol inverter tiga fasa karena selain memiliki lebar data 16bit, dsPIC30f4012 ini juga mampu merespon dengan cepat dan kecepatannya yang tinggi. Program yang digunakan menggunakan perangkat lunak *mikroC for dsPIC*. Data yang dimasukkan ke dsPIC30f4012 menggunakan program bahasa C. Dalam melakukan pemograman, blok kontrol dibagi dalam 3 tahapan yaitu :

- a. Pembacaan sensor *Hall Effect*
- b. Mengolah data dari sensor
- c. Keluaran dari dsPIC30f4012 berupa sinyal digital 1 (ON) dan 0 (OFF)

Langkah awal dalam pemrograman adalah dengan mengatur bit pada register ADC lalu disesuaikan dengan port masukan ADC. Langkah kedua yaitu menggunakan fungsi *timer interrupt* yang berfungsi untuk membangkitkan sinyal segitiga dan mengkomparasi antara sinyal *carrier*. Setelah mengatur *time interrupt*, langkah selanjutnya adalah memasukkan data sensor *hall effect*. Data dari sensor *hall effect* berisi posisi dari rotor pada motor *Switched Reluctance*. Tahap akhir dalam pemrograman ini adalah menentukan proses *demagnetizing* atau *magnetizing* pada motor *Switched Reluctance*. Ketika proses *demagnetizing* atau *magnetizing* sudah ditentukan, maka *Digital Signal Controller* akan menghasilkan pola pensaklaran. Pola pensaklaran ini digunakan untuk menentukan saklar mana 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. Setelah proses inisialisasi selesai, selanjutnya membaca hasil dari sensor *hall effect*. Kemudian akan menghasilkan pola pensaklaran pada inverter tiga fasa dan kembali pada pembacaan sensor *hall effect*.



Gambar-3.14. *Flowchart* pemrogaman