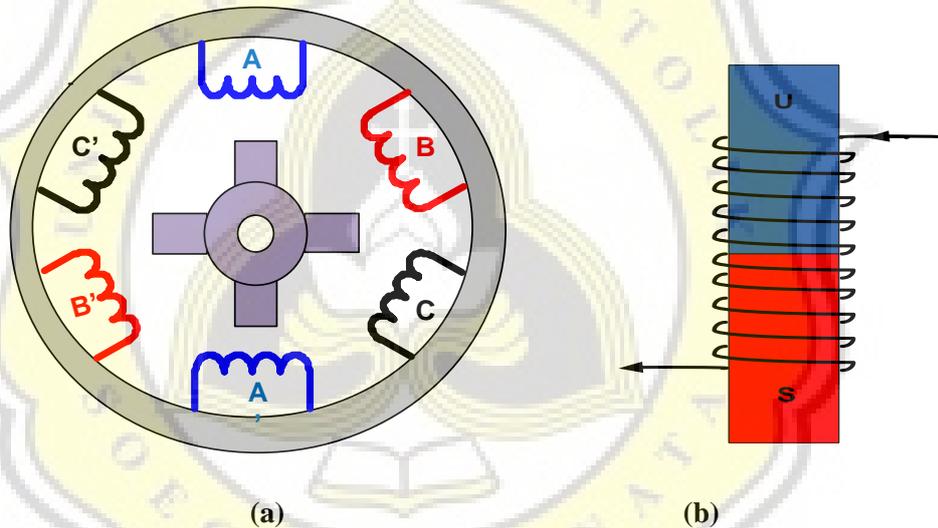


BAB III PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SWITCHED RELUCTANCE MOTOR

3.1 Pendahuluan

Pada bab ini penulis akan menjelaskan tentang rangkaian *Switched Reluctance Motor* 3 fasa, rangkaian motor ini menggunakan komponen-komponen elektronika dengan harga yang terjangkau. Secara lengkap implementasi motor ini dapat digambarkan sebagai berikut:

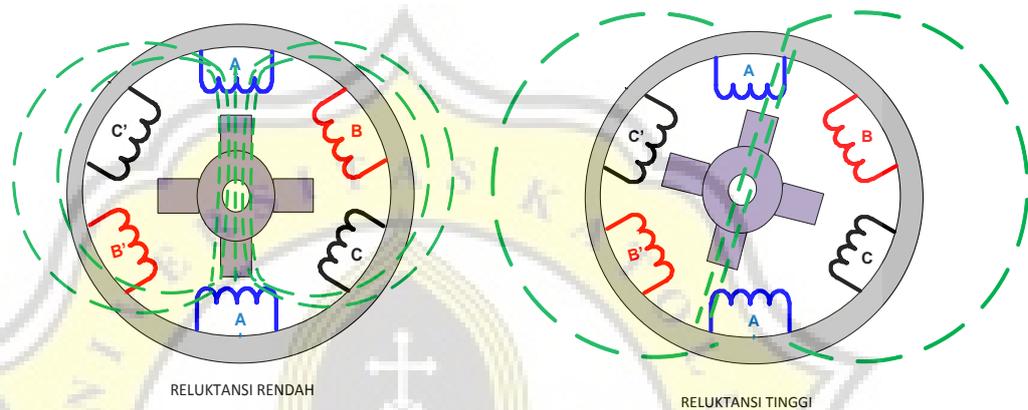


Gambar 3.1. (a) Konstruksi *Switched Reluctance Motor* (b) Arah belitan stator

3.1.1 Rotor

Saat kumparan pada stator dihubungkan dengan sumber tegangan, maka akan tercipta medan magnet di sekitar kutub-kutub stator tersebut. Selanjutnya, fluks magnet yang dihasilkan akan memaksa rotor untuk bergerak menuju posisi di mana nilai reluktansi minimum, dan kondisi ini didapat saat kutub pada rotor segaris lurus dengan kutub salient pada stator dan pada saat yang bersamaan nilai

induktansi pada belitan adalah maksimum, dan jika rotor tidak segaris lurus dengan kutub salient pada stator saat itu lah terjadi reluktansi medan magnet maksimum. Sehingga, dari proses itu menyebabkan terjadinya perputaran yang konstan pada rotor. Pada konstruksinya jumlah rotor dan stator tidak boleh sama, hal ini bertujuan untuk menghindari kemungkinan apabila rotor berada pada posisi statis (stall) dan tidak bergerak, sehingga tidak dapat menghasilkan torsi awal (initial torque).



Gambar 3.2. Konstruksi rotor *Switched Reluctance Motor*

Pada implementasinya, Rotor di sini menggunakan rotor dari motor induktansi yang telah dimodifikasi konstruksinya sesuai dengan rotor ideal pada motor SRM. Secara konstruksi, semakin renggang jarak antara kutub rotor maka torka yang dihasilkan dari motor tersebut semakin besar, hal ini disebabkan karena jika lebar kutub rotor dibanding dengan luas lilitan stator terlalu sempit maka bisa terjadi kesalahan pembacaan posisi pada sensor magnet, yang menyebabkan rotor tersebut berada pada posisi statis (tidak bergerak) sehingga perputaran rotor tidak lancar.

3.1.2 Stator

Stator dari *Switched Reluctance Motor* ini dibentuk dari stator motor induktansi yang telah mengalami modifikasi. Stator ini berjumlah 6 kutub dan masing masing kutub dibelit oleh kawat tembaga dengan jumlah 300 lilitan untuk setiap kutubnya. Kemudian stator ini akan dialiri arus listrik sehingga menghasilkan medan magnet.

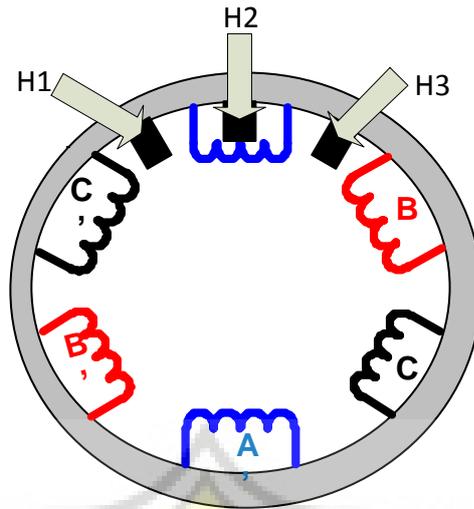
Stator pada *Switched Reluctance Motor* 3 fasa ini dirangkai dengan rangkaian bintang. Dua buah stator akan dipasang secara seri dan membentuk segitiga. Di mana stator A1 dihubungkan dengan stator A2 , B1 dihubungkan dengan stator B2 , dan C1 dihubungkan dengan stator C2.



Gambar 3.3. (a) Stator *Switched Reluctance Motor*, (b) Hubungan Bintang

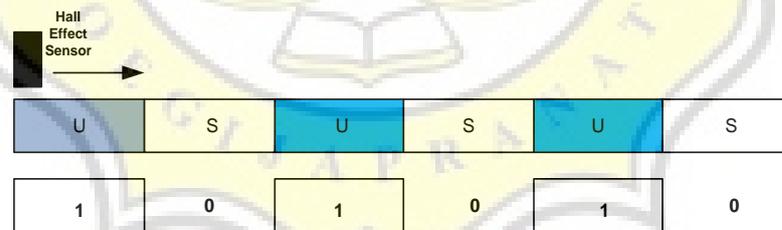
3.1.3 Sensor *Hall Effect*

Pada motor SRM dibutuhkan suatu sensor yang berfungsi untuk mendeteksi posisi rotor dan dapat mengatur saklar pada inverter. Karena rotor motor SRM berupa laminasi baja, maka untuk mendeteksi posisi rotor dibutuhkan magnet neodim yang akan diletakkan pada sisi-sisi rotor. Pada alat ini digunakan sensor magnet atau *hall effect* dengan tipe UGN3503UA.



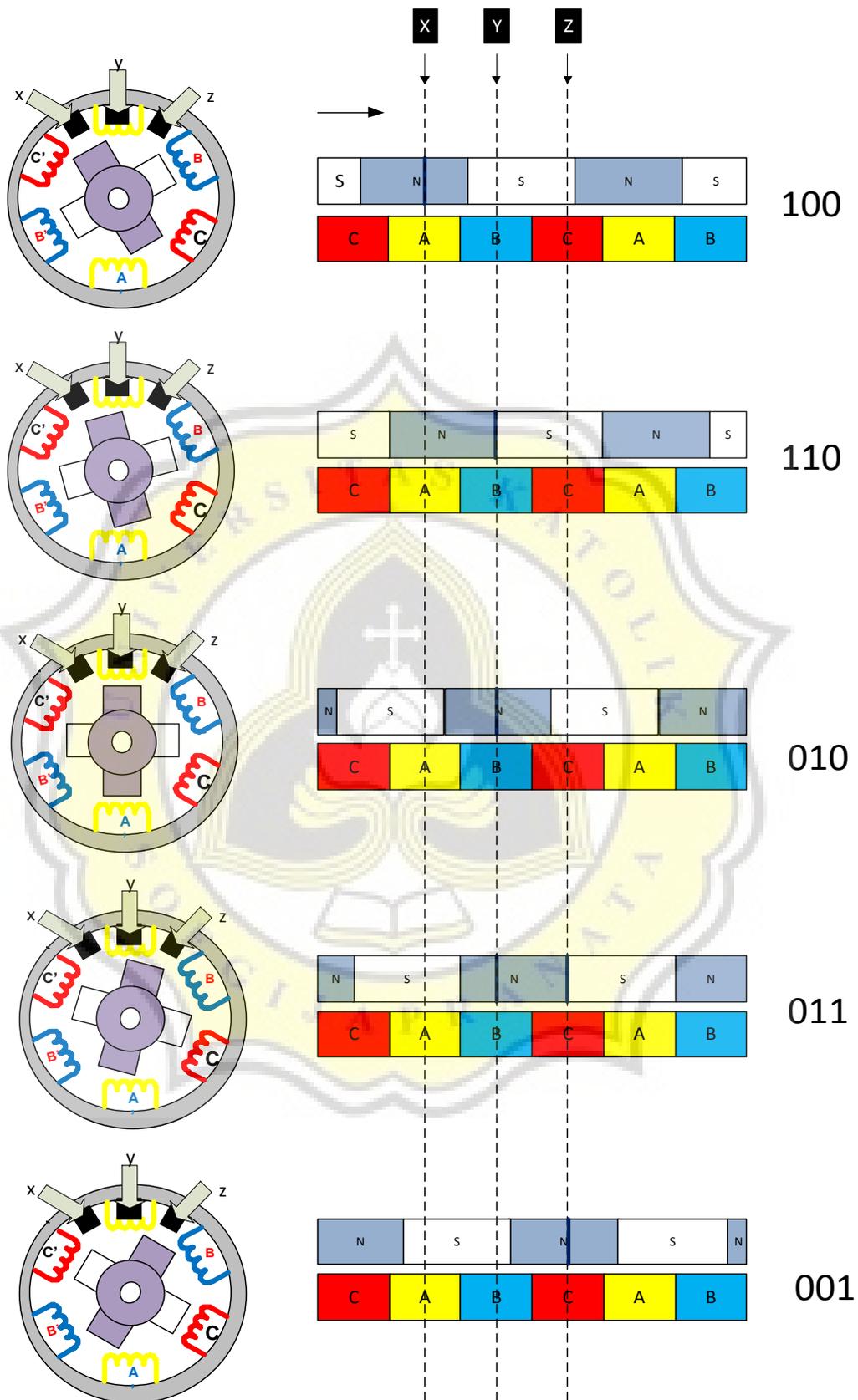
Gambar 3.4. Rangkaian dan posisi *hall effect*

Pada realisasinya, diasumsikan sensor *hall effect* memberikan keluaran berlogika ‘1’ saat mendeteksi kutub magnet utara (N) dan berlogika “0” pada saat kutub magnet selatan (S) dekat dengan sensor. Dan pada alat ini, dibutuhkan tiga sensor *hall effect* yang setiap sensor diletakkan pada posisi sudut 30° berikut rinciannya: H1 pada posisi $\theta = 60^\circ$, H2 pada posisi $\theta = 90^\circ$, H3 pada posisi $\theta = 120^\circ$ terhadap stator.



Gambar 3.5. Sinyal keluaran *hall effect* sensor terhadap kutub magnet

Dengan letak sensor seperti ini, maka akan dihasilkan enam kemungkinan keluaran dari sensor *hall effect* yaitu: 100, 110, 010, 011, 001 dan 101. Dan dari enam data itu akan menjadi inputan pada blok kontrol, kemudian akan diolah untuk proses pensaklaran. Konfigurasi *hall effect* terhadap posisi rotor dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Konfigurasi Hall effect terhadap posisi rotor

3.2 Rangkaian Kontrol

Rangkaian sistem Kontrol untuk *Switched Reluctance Motor* 3 fasa ini terdiri dari mikrokontoller DSPIC30F2020 sebagai sistem kontrol digital, inverter switched reluctance sebagai rangkaian driver saklar statik, serta rangkaian catu daya.

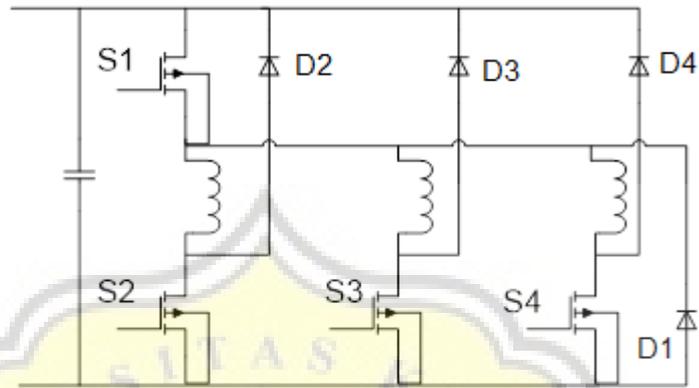
3.2.1 Rangkaian Konverter

Pada Motor SRM dibutuhkan sebuah *power konverter*. Konverter ini akan bertindak sesuai dengan perintah dari sistem kontrol, di mana akan mensupply energi ke masing-masing fasa dari motor pada waktu yang tepat. Oleh karena itu, sebuah konverter dibutuhkan tidak hanya untuk memberikan energi saja, namun juga kemampuan untuk mengatur naik turunnya arus fasa sesuai dengan perintah dari sistem kontrol.

Pada teorinya, terdapat beberapa Topologi konverter untuk Motor SRM, antara lain: Asymmetric konverter, series konverter, $(n+1)$ switch konverter, serta masih banyak lagi. Setiap topologi memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing, dan sebuah topologi konverter menjadi ideal apabila memenuhi beberapa syarat sebagai berikut:

- a) Setiap fase motor memiliki setidaknya satu saklar untuk dapat melakukan secara mandiri
- b) konverter harus mampu membangkitkan fase sebelum memasuki wilayah demagnetizing

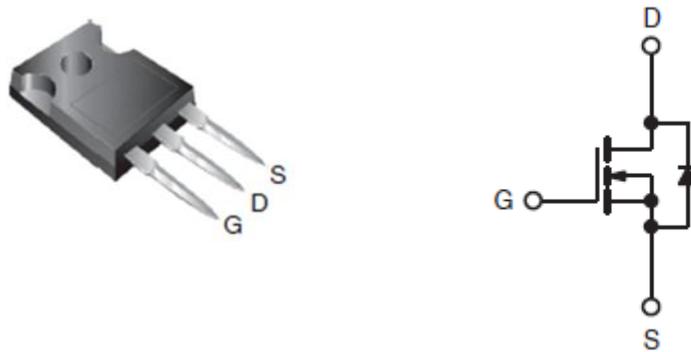
Pada pembahasan ini akan digunakan konverter dengan topologi (n+1) switch konverter, pemilihan topologi ini didasarkan karena desainnya yang flexible dengan tidak membutuhkan banyak saklar sehingga ekonomis.



Gambar 3.7. Topologi N+1 switch konverter

Konverter ini menggunakan 4 buah IGBT sebagai saklar statik, dengan 4 buah Dioda penyearah. Saklar 1 dijadikan sebagai common, sementara saklar 2,3,4 dijadikan sebagai pengendali fasa A,B, dan C. Cara kerjanya adalah ketika saklar S2 (fasa A) hidup dan saklar S1 (common) hidup maka tegangan DC akan mengeksitasi fasa A dan arus akan dengan cepat mengalir pada belitan, proses ini dinamakan periode magnetisasi. Kemudian, saat S1 OFF dan S2 OFF akan terjadi proses freewheeling di mana arus akan mengalir melewati D1 dan D2 menuju kapasitor, begitupun dengan keadaan pada S3 & S4.

Pada aplikasinya, konverter ini menggunakan IRFP250 sebagai MOSFET dan pada desainnya masing masing saklar ditambahkan dengan sebuah diode penyearah pada bagian drain-nya hal ini bertujuan sebagai anti paralel yang disebabkan oleh karena dioda pada rangkaian IRFP250

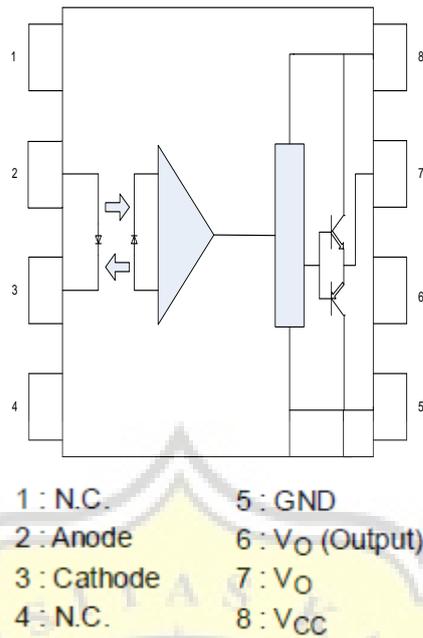


Gambar 3.8. IRFP250

3.2.2 Rangkaian Driver TLP250

Pada alat ini, dibutuhkan sebuah TLP 250 yang digunakan sebagai saklar yang berfungsi untuk mengaktifkan ataupun mematikan tiap lilitan bahan magnet. Proses pensaklaran pada TLP250 beroperasi dengan menggunakan 3 Hall effect yang tergeser setiap 30^0 . Di sini digunakan 4 buah IC TLP250 yang masing-masing TLP 250 terdiri dari cahaya GaAlAs semitring diode dan Photo Sensor/sensor hitam putih terintegrasi. TLP 250 ini cocok dengan sirkuit Gate dari IRFP250. Pada TLP 250 Proses pensaklaran dimulai dengan memindahkan sinyal pada rangkaian kontrol melalui rangkaian driver ke rangkaian daya.

Optocoupler TLP250 membutuhkan catu daya +12V untuk beroperasi pada kaki 8 sebagai +Vdd dan kaki 5 sebagai ground catu daya. Dengan positif input sinyal di kaki 2, dan kaki 3 sebagai ground pada input sinyal. Hasil sinyal yang diperoleh dikeluarkan melalui kaki 6 dan 7. Hasil sinyal PWM dari dsPIC30f2020 kemudian menuju optocoupler TLP250 melalui resistor sebagai penghambat arus yang masuk ke optocoupler. Setelah itu TLP250 akan mengeluarkan sinyal yang sama dengan PWM dari dsPIC30f2020 hanya saja tegangannya 12 V. Selanjutnya akan diolah dan menghasilkan sinyal PWM yang akan mengendalikan saklar pada inverter, Gambar 3.8.



Gambar 3.9. Konfigurasi PIN TLP 250

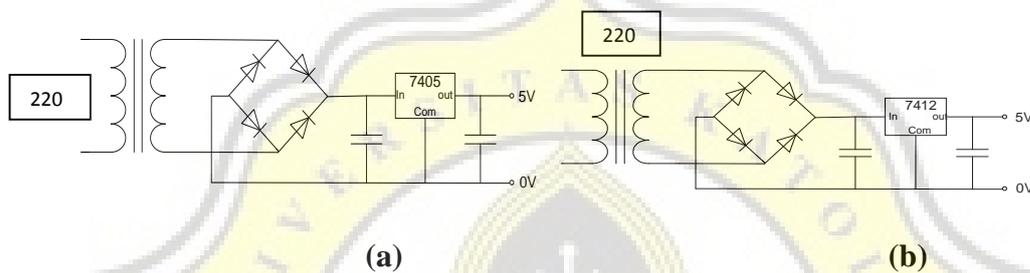
Terdapat 6 step putaran dari Switched Reluctance Motor 3 fasa sederhana. Yaitu saat kondisi 100, 110, 010, 011, 001 dan 101. Fasa belitan stator akan menghasilkan kutub utara (N) selama interval 120 derajat, selama 60 derajat tidak di eksitasi, 120 derajat menghasilkan kutub selatan (S) dan 60 derajat tidak di eksitasi. Pola tersebut akan berulang dan tiap fasa stator akan saling tergeser 120 derajat. Jika belitan stator adalah belitan tiga fasa yang dihubungkan secara bintang dan dihubungkan dengan inverter tiga fasa maka di perlukan urutan konduksi dari saklar statis inverter.

3.3 Rangkaian Catu Daya

Power supply atau catu daya merupakan suatu piranti elektronik yang berfungsi sebagai supply tegangan dengan mengubah arus AC menjadi arus DC. Catu daya menjadi bagian yang penting dalam elektronika yang berfungsi sebagai sumber tenaga listrik misalnya pada baterai atau accu. Secara umum prinsip

rangkaian catu daya terdiri atas komponen utama yaitu : transformator, dioda rectifier, filter, serta regulator sebagai pembatas tegangan. Dalam pembuatan rangkaian catu daya, menggunakan trafo multi winding dengan 4 outputan sebagai berikut:

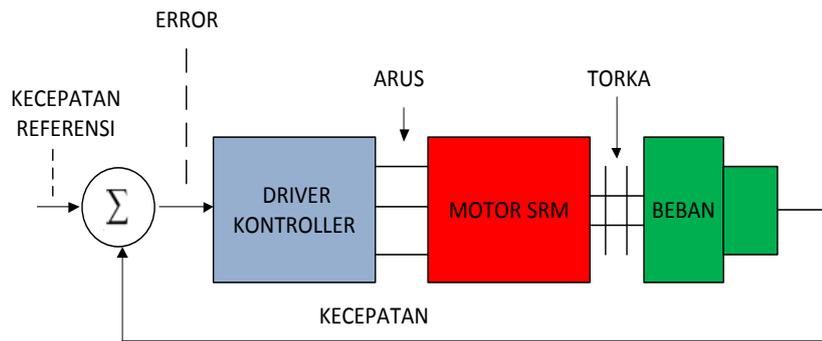
- a. 2 outputan sebesar 5 volt yang berfungsi untuk mencatu dsPIC30F4012 dan buffer.
- b. 2 outputan sebesar 12 volt yang berfungsi untuk mencatu driver inverter 3 fasa.



Gambar 3.10. (a) Catu daya 5 Volt , (b) Catu daya 12 Volt

3.4 Perancangan Blok Sistem Kontrol Digital

Sistem kontrol yang akan diterapkan dalam Switched Reluctance Motor ini merupakan sistem kontrol digital. Dalam proses pemrograman sendiri dilakukan dengan bantuan *software mikroC for dsPIC*. Pada *software mikroC* ini nantinya program kontrol digital akan diolah dengan menggunakan bahasa pemrograman C selanjutnya akan di masukkan ke dalam dsPIC 30F2020. Untuk mengontrol kecepatan motor, dilakukan dengan menggunakan C-Block, dan untuk diagram blocknya dapat dilihat dari Gambar 3.11.



Gambar 3.11. Diagram block kontrol dengan sinyal *feedback*

Kecepatan Motor SRM dikontrol dengan mengatur tegangan masukan, dan waktu hidup matinya saklar. Dengan mengatur waktu mati hidupnya saklar, berpengaruh pada besar dan bentuk dari gelombang arus, hasil dari perubahan tersebut juga mempengaruhi besarnya torka yang dihasilkan dari motor.

3.5 Pemrograman pada dsPIC 30F2020

Program kontrol yang digunakan sebagai kontrol Switched Reluctance Motor 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:

- a. Pembacaan data sensor hitam putih.
- b. Kalkulasi data sensor.
- c. Keluaran program berupa sinyal ON (1) OFF (0).

```

void main()
{
  ADPCFG = 0xFFFF3;          // AN2 AN3 as analog input
  TRISB = 0xFFFF;
  TRISF = 0xFFFF;
  TRISE = 0;
  LATE = 0;
  TRISD = 0;
  LATD = 0;
  init_ADC();
  IPC0 = IPC0 | 0x1000;      // Interrupt priority level = 1
  T1IF_bit = 0;             // Clear T1IF
  T1IE_bit = 1;             // Enable Timer1 interrupts
  T1CON = 0x8010;          // Timer1 ON, internal clock FCY, prescaler 1:1
  PR1 = 1023;              //MENGATUR PERIODE TIMER
}

```

Langkah pertama adalah mengatur bit pada register ADC dan disesuaikan dengan port input ADC, channel yang dipakai dan beberapa pengaturan lainnya seperti mengatur periode timer yang akan mempengaruhi kecepatan motor.

```

void Timer1Int() iv IVI_ADDR_T1INTERRUPT {
  T1IF_bit = 0;             // Clear T1IF
  LATDbits.LATD0 = ~ LATDbits.LATD0;
  IFS0bits.ADIF = 0;       // clear interrupt
  ADCPC0bits.SWTRG1 = 1;  // MANUAL TRIGGER
  while (IFS0bits.ADIF);  // conversion done?
  {
    AN_2 = ADCBUF2;        // AN2 selalu disimpan di BUFFER ADCBUF2
    AN_3 = ADCBUF3;        // AN3 selalu disimpan di BUFFER ADCBUF3
  }
}

```

Kemudian gunakan fitur Timer Interrupt dengan fungsi membangkitkan sinyal segitiga yang terkontrol dengan beberapa register Timer Interrupt. Setelah itu atur AN_2 dan AN_3 sebagai nilai referensi yang kemudian disimpan pada Buffer.

```

while(1)
  while(1)
  {
if ((RF6_bit==1)&&(RB4_bit==0)&&(RB5_bit==0))
K3() ;

if ((RF6_bit==0)&&(RB4_bit==1)&&(RB5_bit==1))
K3() ;

if ((RF6_bit==1)&&(RB4_bit==1)&&(RB5_bit==0))
K1() ;

if ((RF6_bit==0)&&(RB4_bit==0)&&(RB5_bit==1))
K1() ;

if ((RF6_bit==0)&&(RB4_bit==1)&&(RB5_bit==0))
K2() ;

if ((RF6_bit==1)&&(RB4_bit==0)&&(RB5_bit==1))
K2() ;
}
}

```

Setelah melakukan berbagai pengaturan, langkah berikutnya adalah menginput data dari posisi rotor yang dideteksi oleh sensor hall effect. Langkah ini bertujuan untuk menentukan kapan hidupnya sebuah saklar secara bergantian berdasar dengan posisi sensor.

```

int AN_2, AN_3;
void init_ADC(void);

void K1() //Com-A 0 1
{
if (AN_2 >TMR1)
LATE = 0b0000000000000011 ;
else
LATE = 0b0000000000000010 ;
}

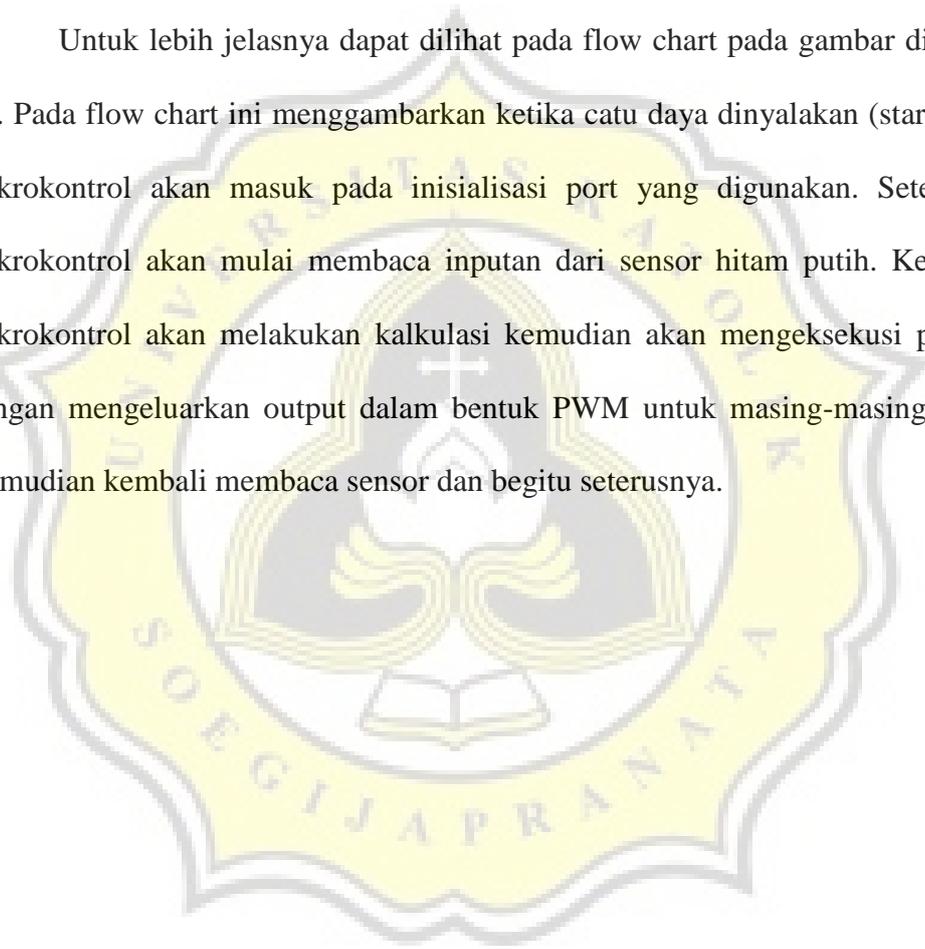
void K2() //Com-B 0 2
{
if (AN_2 >TMR1)
LATE = 0b0000000000000101 ;
else
LATE = 0b0000000000000100 ;
}

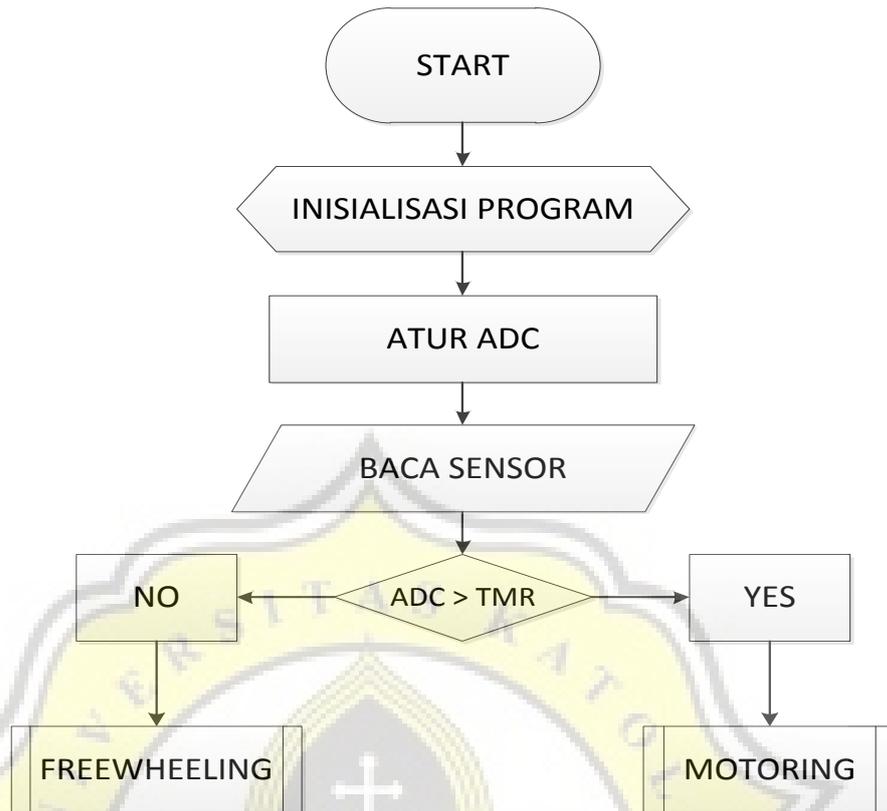
void K3() //Com-C 0 3
{
if (AN_2 >TMR1)
LATE = 0b0000000000001001 ;
else
LATE = 0b0000000000001000 ;
}

```

Tahap akhir dari pemrograman ini adalah menentukan apakah akan motor dieksekusi sebagai posisi motoring atau free wheeling. PWM akan selalu berubah-ubah ketika nilai arus dan tegangan yang telah disensor juga berubah. Dan pada mikrokontroller ini sisi keluaran pada dsPIC30F2020 menggunakan PORTE sebagai output pensaklaran PWM. Selanjutnya menuju ke buffer 74HC541 sebagai penguat keluaran PWM sebelum menuju ke driver pada rangkaian daya.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada flow chart pada gambar di bawah ini. Pada flow chart ini menggambarkan ketika catu daya dinyalakan (start) maka mikrokontrol akan masuk pada inisialisasi port yang digunakan. Setelah itu mikrokontrol akan mulai membaca inputan dari sensor hitam putih. Kemudian mikrokontrol akan melakukan kalkulasi kemudian akan mengeksekusi program dengan mengeluarkan output dalam bentuk PWM untuk masing-masing saklar. Kemudian kembali membaca sensor dan begitu seterusnya.

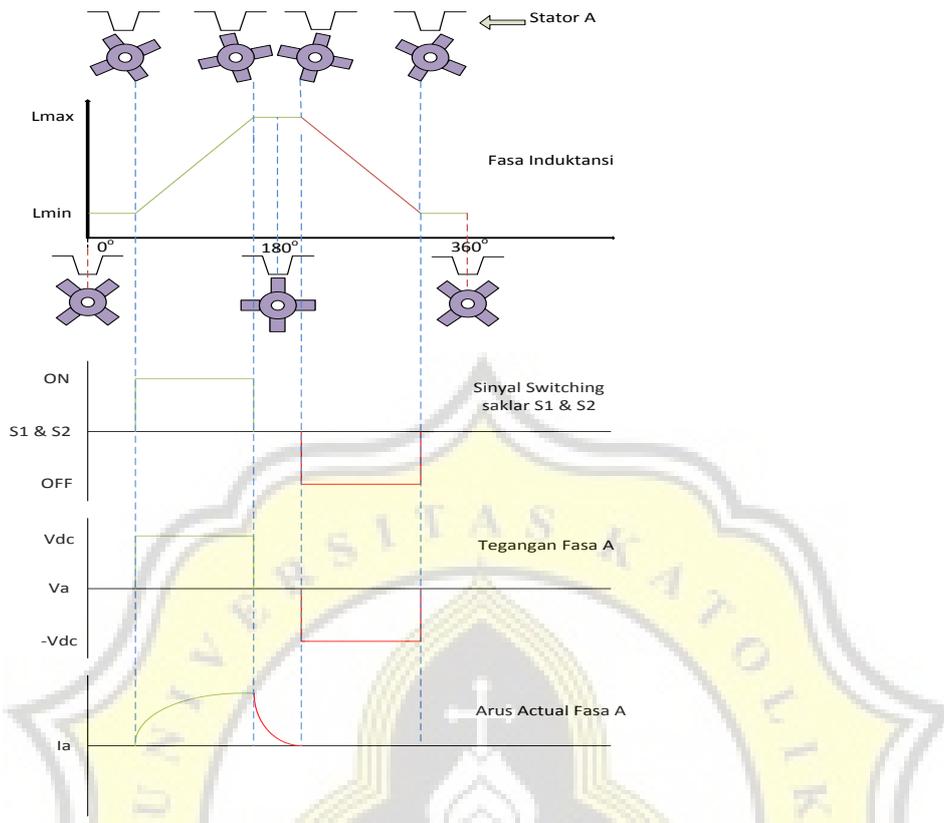




Gambar 3.12. Flowchart Pemrograman

3.6 Metode Kontrol Posisi Rotor

Untuk mengontrol sebuah Motor SRM, diperlukan sebuah sinkronisasi antara fasa eksitasi dari stator dengan arah putaran rotor. Oleh sebab itu, informasi tentang posisi rotor sangat diperlukan untuk operasi *switching* pada konverter. Proses sinkronisasi antara posisi rotor dengan arus fasa ini, bertujuan untuk mendapatkan performa yang efisien dan optimal dari Motor SRM. Sinkronisasi antara posisi rotor dengan *switching* saklar pada konverter dapat dilihat dari gambar.



Gambar 3.13. Konfigurasi posisi motor dengan switching saklar

Ketika saklar S2 (fase A) hidup dan saklar S1 (*common*) hidup maka tegangan DC akan mengeksitasi fase A sehingga arus akan dengan cepat mengalir pada belitan (magnetisasi), dan posisi rotor yang semula berada pada posisi tidak sejajar bergerak mendekati stator dimana nilai induktansinya maksimum dan nilai reluktansinya minimum. Kemudian, saat saklar S2 & S1 off maka akan terjadi proses freewheeling dimana arus akan mengalir menuju dioda, pada saat itu nilai induktansi mengalami penurunan sehingga posisi rotor yang semula sejajar dengan stator perlahan-lahan bergerak menjauhi stator seiring dengan penurunan nilai induktansinya, dan dilanjutkan dengan rotor bergerak menuju stator B dimana S3 dan S1 on, begitupun seterusnya.