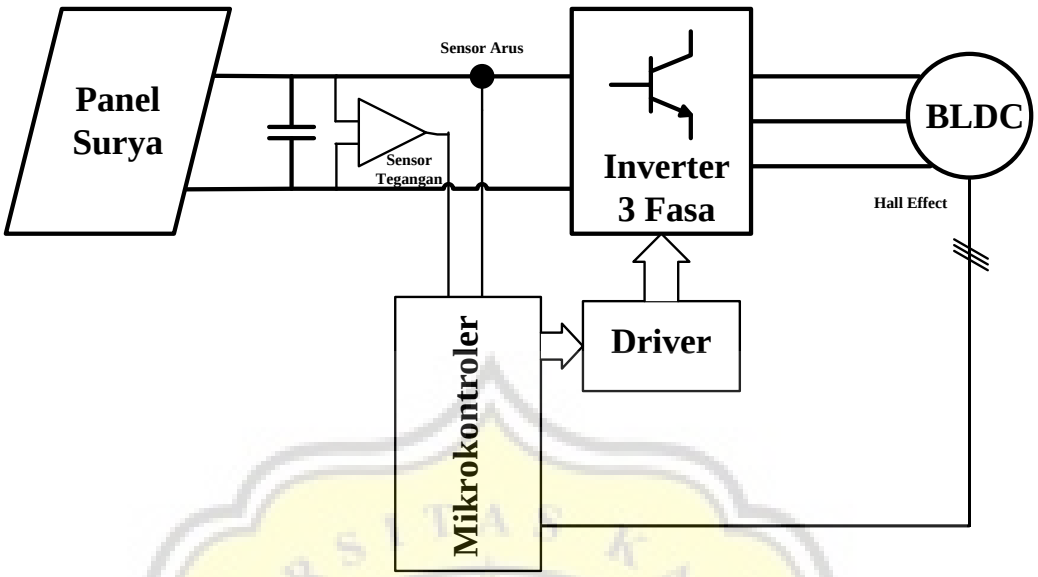
BAB III

RANCANGAN DESAIN DAN IMPLEMENTASI POMPA AIR MOTOR BLDC DENGAN SUPLAI DARI PANEL SURYA

3. 1. Pendahuluan

Pada tugas akhir akan membahas tentang memaksimalkan daya hasil konversi energi matahari ke listrik oleh *photovoltaic* kemudian dimanfaatkan untuk menggerakan pompa air BLDC. Menggunakan inverter 3 fasa yang berperan sebagai penggerak motor BLDC dan sekaligus sebagai MPPT. Sistem kontrol berdasarkan kurva karakteristik *photovoltaic* yaitu kurva daya terhadap tegangan ditemukan metode pemaksimalan daya. *Perturb and Observe* (PO) adalah metode untuk memaksimalkan daya yang dikonversi panel surya kemudian diolah dan dikolaborasikan dengan metode menggerakan motor BLDC. Sehingga meskipun hanya satu kendali tetapi bisa berfungsi ganda. Tugas akhir ini mengimplementasikan sistem *Single Stage of Mobile Solar Bldc Water Pump*, seperti pada Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1. Diagram blok system

Berdasarkan Gambar 3.1, sistem ini terdiri dari beberapa blok yaitu : blok sensor, blok rangkaian daya (*driver* motor BLDC dan MPPT), blok *driver*, blok kontrol dengan menggunakan mikrokontrol dsPIC30f4012. Bagian utama dari sitem ini adalah blok kontrol. Di mana blok kontrol akan menerima data blok sensor. Kemudian data tersebut akan dirubah terlebih dahulu dari analog menjadi digital (ADC).

Setelah itu data digital akan diolah oleh blok kontrol dengan mengkalkulasi dengan persamaan PO (*Perturb and Observe*). Kemudian hasilnya akan dibandingkan dengan timer dan juga melihat posisi rotor untuk mengasilkan PWM (*Pulse Width Modulation*) untuk pensaklaran. Sinyal PWM ini akan dihubungkan ke blok *driver*. Kemudian dari blok ini akan mengendalikan saklar pada blok rangkaian daya. Pensaklaran pada blok rangkaian daya akan menggerakan motor BLDC dengan daya yang maksimal dari *photovoltaic*.

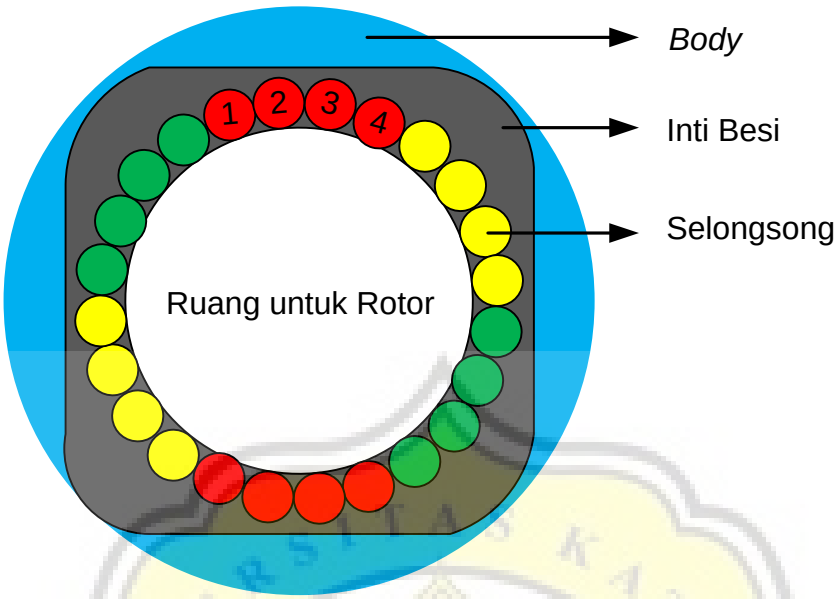
3.2. Pompa Air BLDC

Pompa air BLDC adalah suatu alat yang berfungsi untuk menggerakan fluida dari tempat yang bertekanan rendah ke tempat yang bertekanan tinggi dengan memanfaatkan putaran dari motor BLDC. Pada tugas akhir ini, pompa air BLDC dirancang sendiri dengan memodifikasi pompa air kapasitor. Pompa air kapasitor yang semula menggunakan motor kapasitor dirubah konstruksinya sedemikian rupa menjadi motor BLDC.

Pada dasarnya modifikasi tersebut hanya merubah konstruksi stator motor yang berupa belitan dari empat kutub dua fasa menjadi enam kutub tiga fasa. Kemudian juga merubah rotor pada motor kapasitor yang semula berupa inti besi dirubah menjadi magnet permanen yang terdiri dari empat kutub. Untuk lebih jelasnya dapat disimak penjelasan di bawah ini.

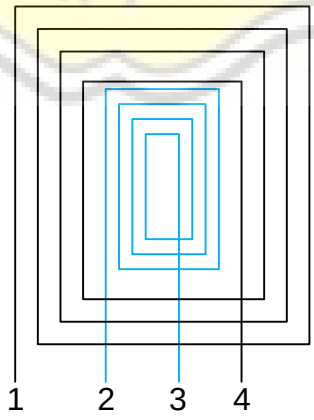
3.2.1. Stator Pompa Air BLDC

Stator adalah bagian motor yang tidak bergerak atau statis. Pada umumnya stator motor BLDC berupa belitan. Stator yang dibuat tersusun dari enam belitan yang melingkari selongsong inti besi pada stator. Selongsong pada stator berjumlah dua puluh empat buah. Sehingga masing masing kutub menempati empat selongsong. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat Gambar 3.2.



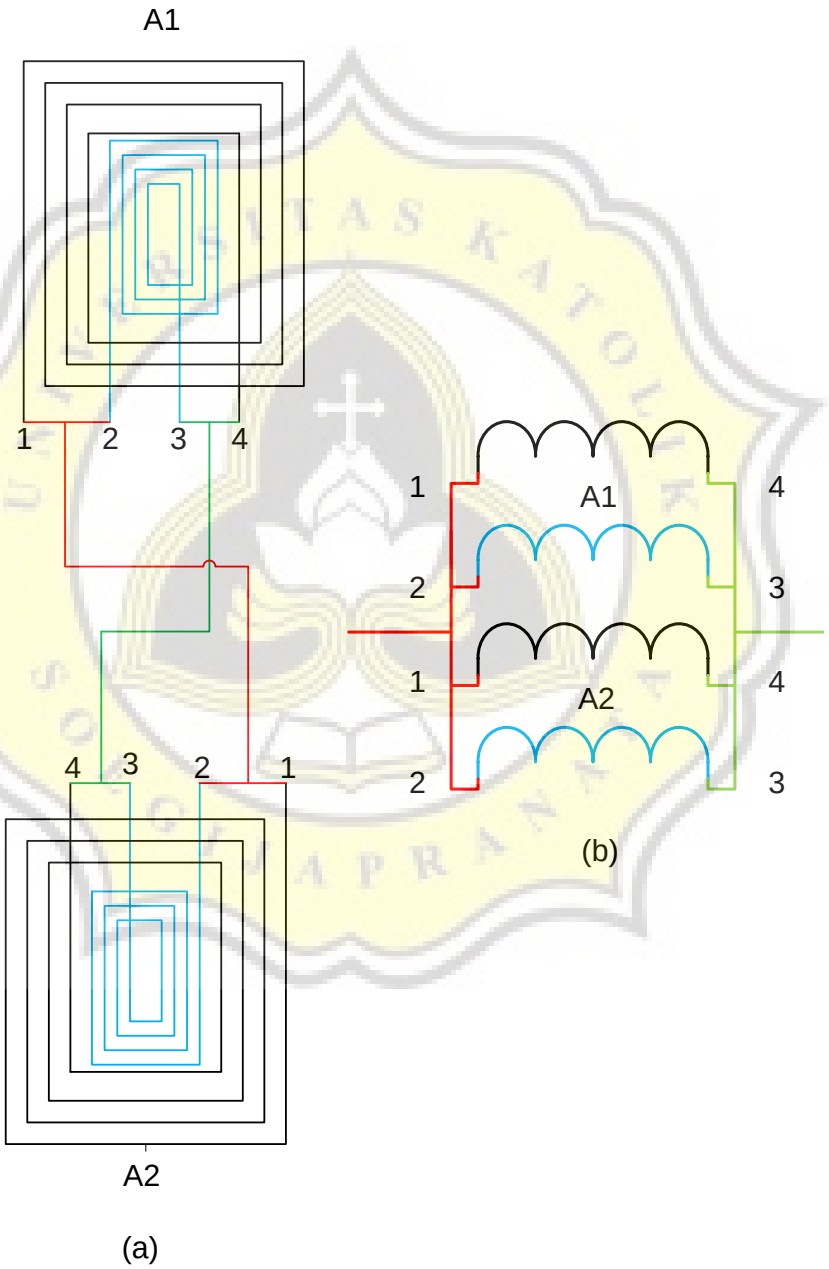
Gambar 3.2. Stator pada motor BLDC

Berdasarkan Gambar 3.2, stator dibagi menjadi enam kutub tiga fasa. Setiap kutubnya terdiri dari empat selongsong yang natinya akan dililitkan kawat email. Lilitan tersebut terdiri dari dua lilitan. Yaitu lilitan yang melingkari dua selongsong dalam (nomor 2 dan 3) dan lilitan yang satunya melingkari dua selongsong tepi (nomor 1 dan 4). Sehingga lilitan tersebut akan nampak seperti Gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.3. Bentuk lilitan pada stator

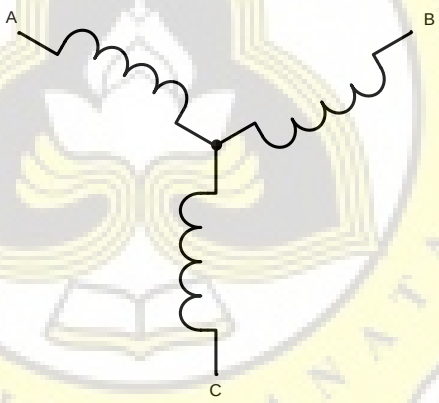
Dari lilitan tersebut kemudian disusun paralel. Sehingga nomor satu dihubungkan dengan nomor dua dan nomor tiga dihubungkan dengan nomor empat. Setelah semua kutub dirangkai seperti itu semua. Maka antar kutub yang satu fasa juga dihubungkan secara paraler juga sehingga menjadi seperti Gambar 3.4.



Gambar 3.4. (a) Hubungan Lilitan antar kutub (b) Rangkaian ekuivalen

Pada Gambar 3.4. hubungan antar kutub dihubungkan secara paralel. Ini bertujuan supaya impedasi pada induktor kecil. Sehingga arus yang mengalir akan besar. Rangkaian paralel antar kutub per nomornya juga sama. Ini bertujuan supaya kutub yang dihasilkan dari elektromagnetnya juga sama. Semisal kutub A1 meghasilkan kutub magnet utara. Maka kutub A2 juga akan menghasilkan kutub utara. Pasangan kutub per fasa memang disengaja sama supaya dapat menarik atau menolak magnet pada rotor secara serentak sehingga rotor dapat berputar.

Setelah dihubungkan kutub antar fasa, akan dihasilkan tiga pasang kutub dengan tiga fasa. Kemudian ketiganya dirangkai menjadi rangkai bintang seperti Gambar 3.5. Rangkaian tersebut kemudian dihubungan dengan inverter tiga fasa.

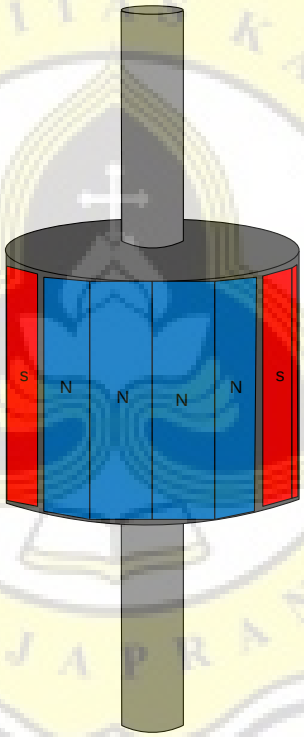


Gambar 3.5. Hubungan bintang antar fasa

3.2.2. Rotor Pompa Air BLDC

Rotor adalah bagian dari motor yang bergerak. Rotor pada motor BLDC berupa magnet permanen. Karena motor yang dibuat tugas akhir ini adalah modifikasi dari motor kapasitor yang rotornya berupa inti besi. Maka perlu dilapisi magnet permanen di tepi rotor. Magnet yang digunakan adalah magnet neodium

yang berjumlah 16 buah. Rotor diterdiri dari empat kutub dengan susunan utara-selatan-utara-selatan. Masing-masing kutub diwakili empat buah magnet yang disusun melingkari rotor yang terlebih dahulu sudah dikurangi diameternya. Tujuannya adalah supaya diameter rotor sebelum dilapisi magnet sama dengan diameter sesudah dilapisi magnet. Sehingga rotor masih dapat masuk dalam motor dan dapat bergerak tanpa menggesek stator. Hasil dari modifikasi rotor tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.6.

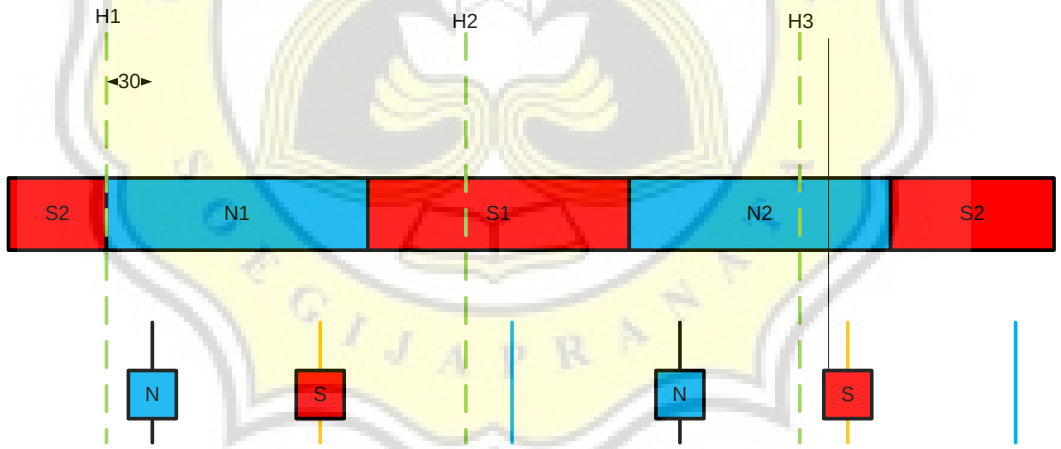


Gambar 3.6. Rotor motor BLDC

3.2.3. Sensor *Hall Effect*

Pada motor BLDC untuk mengatur saklar pada inverter dibutuhkan suatu sensor yang dapat mengetahui posisi rotor saat itu. Karena rotor motor BLDC berupa magnet permanen, maka pada umumnya menggunakan sensor magnet untuk mendeteksi rotor. Sensor magnet atau *hall effect* salah satunya adalah UGN3503UA.

Jika 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 biasanya motor BLDC membutuhkan tiga sensor *hall effect*. Tiga buah *hall effect sensor* diletakkan pada posisi sebagai berikut : H1 pada posisi $\theta = 330^0$, H2 pada posisi $\theta = 90^0$, H3 pada posisi $\theta = 210^0$ terhadap stator.

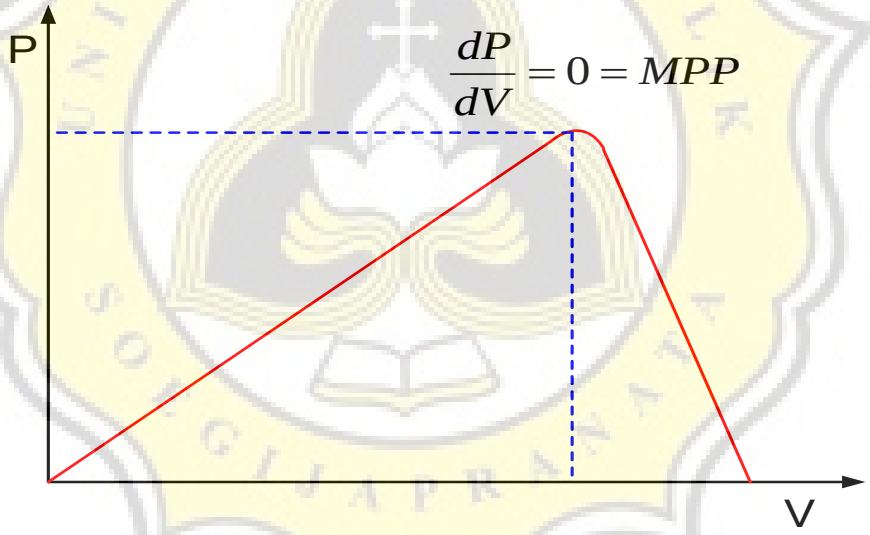


Gambar 3.7. Posisi sensor *Hall Effect*

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

3.3. MPPT *Perturb and Observe* (PO)

MPPT digunakan sebagai pemaksimal daya pada *photovoltaic* agar diperoleh efisiensi konversi yang tinggi. Metode *Perturb and Obsesrve* sebagai MPPT bekerja berdasarkan *gradien* kurva karakteristik P terhadap V pada *photovoltaic*. Titik kerja maksimum *photovoltaic* terletak pada nilai tegangan (V_{mpp}) dan nilai arus (I_{mpp}) yang berbeda untuk setiap kondisi lingkungan / sinar matahari yang berbeda. Dengan Karakteristik P terhadap V *photovoltaic* merupakan fungsi daya terhadap tegangan, di mana mencapai titik maksimum (M_{pp}) ketika *gradien*-nya bernilai nol.



Gambar 3.8. Kurva Kendali *Perturb and Observe*

Dalam lereng metode PO ditemukan suatu persamaan nilai puncak dari kurva sehingga didapat.

$$\frac{dP}{dV} = 0 \qquad (3.1)$$

Pada tugas akhir ini menggunakan sebuah metode yang diperoleh dari metode *Perturb and Observe*. Dengan menerapkan persamaan pada titik puncak kurva (Persamaan (3.1)). Metode tersebut akan diimplementasikan sebagai MPPT dengan inverter tiga fasa sebagai penyesuai beban. Proses berawal dari tegangan dan arus *photovoltaic* yang disensor dan hasil sensor tersebut diolah menggunakan metode PO sebagai pemaksimal daya untuk menggerakan motor BLDC.

3.4. Sensor

Sensor dapat diartikan sebagai indra dari suatu sistem yang dirancang. Sistem yang dirancang secara *closeloop* membutuhkan suatu sensor untuk mengetahui aktual dari sitem apakah sudah sesuai dengan apa yang diinginkan atau belum. Hasil dari sensor biasanya akan dibandingkan dengan referensi yang nantinya akan menentukan kinerja sistem berikutnya hingga *error* sama dengan nol.

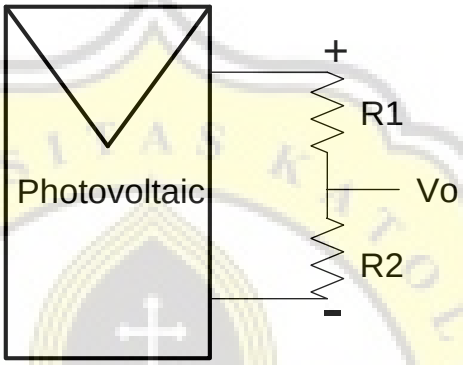
Untuk tugas akhir ini tentang pompa ait tenaga surya di mana driver dari motor BLDC juga berperan sebagai MPPT. Sehingga membutuhkan sensor tegangan dan arus supaya dapat memaksimalkan daya yang dikonversi dari panel surya.

3.4.1. Sensor Tegangan

Sensor tegangan yang digunakan terdiri dari beberapa komponen. Antara lain dua buah *resistor, resistor variable* dan IC *Op-Amp* LM324. Dua buah *resistor variable* digunakan sebagai pembagi tegangan. Kemudian Op-Amp digunakan

untuk menguatkan sinyal dari pembagi tegangan yang diatur secara *variable* dengan mengatur *resistor variable.*

Prinsip kerja dari sensor tegangan adalah mendeteksi nilai tegangan yang dihasilkan oleh *photovoltaic*. Nilai yang dideteksi kemudian diturunkan melalui pembagi tegangan dengan skala yang sangat kecil.



Gambar 3.9. Sensor tegangan

Dari Gambar 3.9 dapat diturunkan suatu persamaan sebagai berikut :

$$V_{pv} = V_{R1} + V_{R2}$$

$$V_{pv} = I.R1 + I.R2$$

$$V_{pv} = I(R1 + R2)$$

$$\frac{V_{pv}}{(R1 + R2)} = I$$

$$\frac{V_{pv}}{(R1 + R2)} = \frac{V_o}{R2}$$

$$V_o = \frac{R2}{(R1+R2)}\ x\ V_{pv} \qquad (3.8)$$

di mana :

V_{pv} : Tegangan pada panel surya

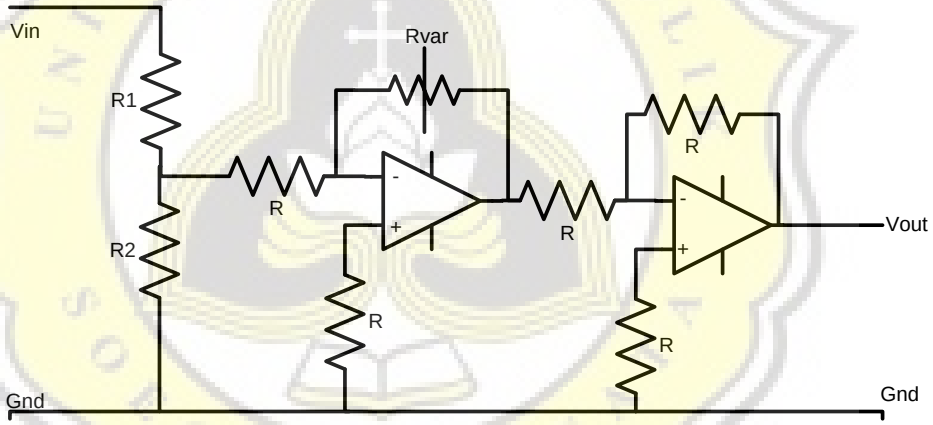
V_{R1} : Tegangan pada R1

V_{R2} : Tegangan pada R2

V_o : Tegangan keluaran sensor tegangan

I : Arus

Selanjutnya dikuatkan dengan LM324 dengan penguatan secara *variable*. Nilai maximum keluaran sensor ini diatur < 5V. 5V adalah nilai maksimum tegangan pada mikrokontroller, Gambar 3.10.

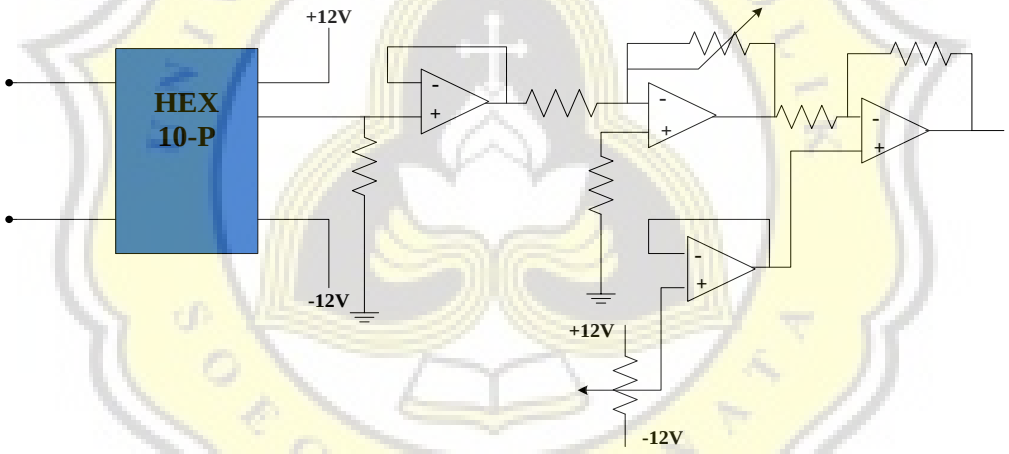


Gambar 3.10. Skema blok sensor tegangan

3.4.2. Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan mendeteksi arus adalah *HEX 10-P*. Sensor ini memiliki sistem minimum yang terdiri dari resistor, *Op-Amp*, dan *HEX 10-P*. Berbeda dengan sensor tegangan yang terhubung paralel dengan *photovoltaic*, sensor arus ini terhubung seri dengan *photovoltaic* pada polaritas positif [1].

Prinsip kerja sensor arus adalah mendeteksi nilai arus yang dihasilkan oleh *photovoltaic*. Arus yang telah dideteksi kemudian dikonversi dalam bentuk tegangan melalui *HEX 10-P* dan beberapa resistor. Kemudian di kuatkan menggunakan beberapa IC *Op-Amp*. Pada dasarnya dari sensor ini adalah mengkonversi dari nilai arus yang didetksi menjadi tegangan. Mislakan sesor mendeteksi arus sebesar 1 A, maka output dari sensor adalah 1 V. Hasil keluaran kemudian diolah dan dikuatkan dengan Op-Amp. Catu dari *HEX 10-P*. *HEX 10-P* memerlukan catu -12 *Gnd* +12. Hasil keluaran dari sensor arus kemudian menuju mikrokontrol untuk proses selanjutnya, Gambar 3.11.

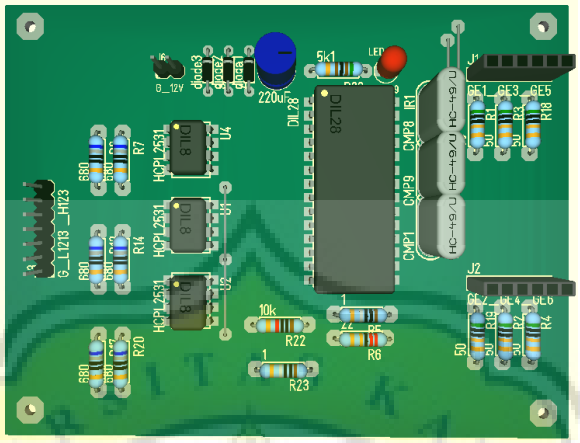


Gambar 3.11. Skema blok sensor arus

3.5. Rangkaian Driver

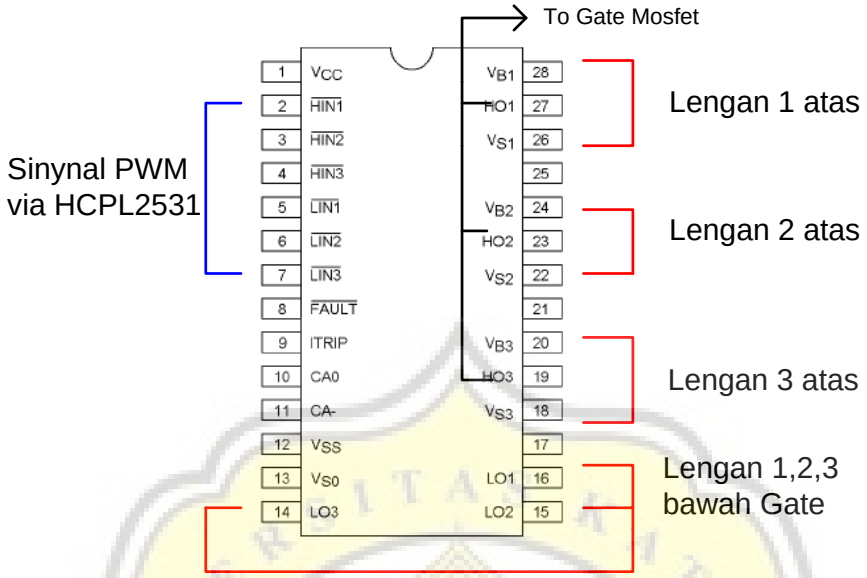
Pada umumnya rangkaian driver digunakan untuk menginterfacing antara blok kontrol yang bekerja pada tegangan dan arus kecil dengan rangkaian daya yang bekerja pada rating tegangan dan arus besar. Di mana kedua sistem ini mempunyai level grounding yang berbeda, sehingga tidak terhubung secara galvanis antara dsPIC30F4012 dengan saklar statik arus kuat (IGBT). Berikut

dijelaskan dan digambarkan mengenai komponen yang digunkan dalam membuat blok driver:



Gambar 3.12. Blok driver

Pada Gambar 3.12 menunjukan bahwa rangkain driver terdiri dari dua komponen utama. Yaitu *optocoupler* dan driver IGBT itu sendiri. Optocoupler menggunakan *optocoupler* HCPL 2531. Inputan HCPL 2531 dari mikrokontroler dsPIC30f4012. Sinyal yang dikeluarkan dari mikrokontrol berupa sinyal PWM. PWM terlebih dahulu melalui buffer sebagai penyetabil tegangan PWM sekaligus sebagai proteksi mikrokontrol jika terjadi *feed back* dari driver. Sinyal PWM kemudian menuju *optocoupler* HCPL 2531 melalui resistor sebagai penghambat arus yang masuk ke *optocoupler*. Setelah itu HCPL 2531 akan mengeluarkan sinyal sama dengan PWM dari dsPIC30f4012 hanya saja tegangannya 12 V. Sinyal ini kemudian menjadi inputan dari driver IR2132. Kemudian diolah dan menghasilkan sinyal PWM yang akan mengendalikan saklar pada inverter, Gambar 3.13.



Gambar 3.13. Fungsi pin IR2132

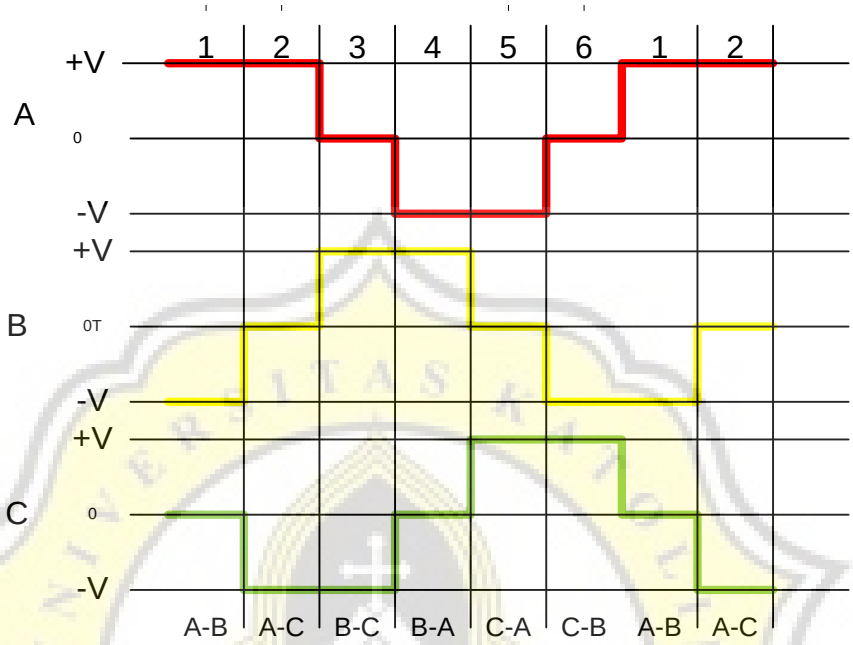
Dengan mengambil percobaan dari pembacaan sensor *hall effect* dihasilkan data sebagai berikut

Tabel 3.1. Pembacaan *Hall Effect* dan pensaklaran

NO	H1	H2	H3	S1	S2	S3	S4	S5	S6	Van	Vbn	Vcn	A	B	C
1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	V	- V	0	U	S	-
2	1	0	0	1	0	0	0	0	1	V	0	- V	U	-	S
3	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	V	- V	-	U	S
4	0	0	1	0	1	1	0	0	0	- V	V	0	S	U	-
5	0	1	1	0	1	0	0	1	0	- V	0	V	S	-	U
6	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	- V	V	-	S	U

Dengan demikian jika menghendaki motor berputar sesuai arah jarum jam atau ke kanan, maka program dibuat ke bawah. Misal pembacaan sensor *hall effect* seperti pada nomor satu yaitu 110 maka sinyal PWM untuk pesklaran harus nomor

dua yaitu 100001. Begitu juga sebaliknya, jika menghendaki motor berputar berlawanan arah jarum jam atau ke kiri, maka program dibuat ke atas.

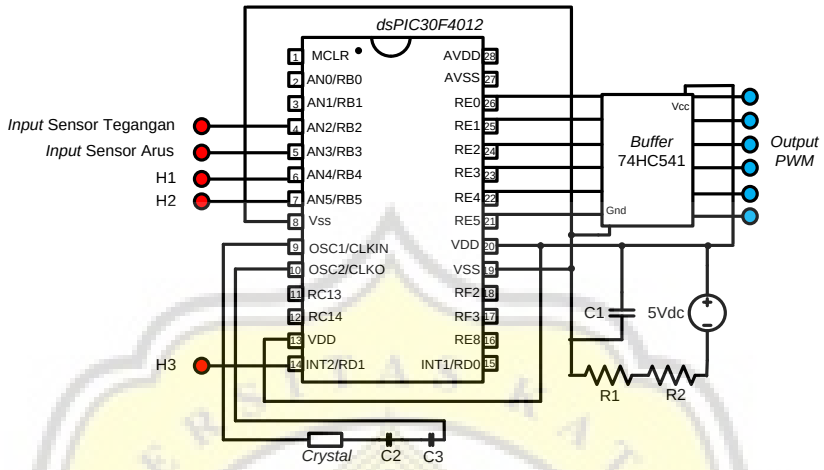


Gambar 3.14. Gelombang hasil pesaklaran pada inverter

3.6. Blok Kontrol

Blok kontrol pada desain ini berbasis digital menggunakan mikrokontroller DSC (*Digital Signal Control*) *dsPIC30F4012*. Mikrokontroller yang terdiri dari sistem minimum *dsPIC30F4012* dan dilengkapi dengan *Buffer* dengan IC74HC541, Gambar 3.15. IC ini bekerja sebagai penguat tegangan keluaran dari *dsPIC30F4012* sebelum menuju ke *driver*. Keluaran dari *buffer* selalu terkunci pada tegangan ±5V, hal tersebut dikarenakan IC74HC541 dicatu dengan tegangan ±5V. Tegangan ±5V ditujukan untuk menyalakan led *optocoupler* HCPL 2531 pada *driver* agar proses pensaklaran selalu optimal. Pada pemprograman *dsPIC30F4012*

menggunakan *software mikroC pro for dsPIC* yang menggunakan bahasa C sebagai dasar pemrograman.



Gambar 3.15. Skema sistem minimum *dsPIC30F4012* dan *buffer*

3.7.1 Alogaritma Pemrograman *dsPIC30F4012*

dsPIC30F4012 dengan lebar data 16bit adalah komponen utama yang digunakan dalam mikrokontroller. *dsPIC30F4012* merupakan IC yang bekerja sebagai pengolah sinyal digital dilengkapi dengan pengaturan 30 MIPS instruksi yang diproduksi oleh *Microchip Technology*. Sebagai pengolah sinyal digital dengan respon dan kecepatan yang tinggi, maka digunakan untuk kendali pemaksimal daya sebagai kontrol MPPT sekaligus mengkontrol motor BLDC. Beberapa fitur dipakai dalam proses pengolahan data kontrol MPPT. Fitur seperti I/O, ADC 10bit dan *Timer Interrupt* di atur sesuai dengan *register* yang dibutuhkan.

Pengolahan data berawal dari nilai arus dan tegangan yang telah di deteksi. *Register* ADC telah diatur untuk proses awal pengolahan masukan data nilai arus dan tegangan. Dengan lebar data 16bit setiap *register* ADC diatur sebagai berikut.

```
  ADPCFG = 0xFF73;                // RB2 & RB3 = analog
// INISIALISASI ADC
ADCON1bits.SSRC = 0b111;  // Internal counter ends sampling and starts conversion (auto convert)
ADCON1bits.SIMSAM = 0;   // Samples multiple channels individually in sequence
ADCON1bits.ASAM = 0; // Sampling begins when SAMP bit set
ADCON2bits.VCFG = 0b000 ; // AVDD AVSS Vref
ADCON2bits.CHPS = 0b00 ;  // Converts CH0
ADCON2bits.SMPI = 0b0001 ;  // Interrupts at the completion of conversion for each 2nd sample/co
ADCON2bits.ALTS = 1 ;  // Uses MUX A input multiplexer settings for first sample, then alternate
// MUX A input multiplexer settings for all subsequent samples
ADCON3bits.SAMC = 0b00110;  // Auto Sampling 6 Tad, Tad = internal 6 Tcy
ADCON3bits.ADCS = 0b000110;  // Tad = internal 6 Tcy
ADCHSbits.CH0SB = 0b0011 ; // Connect AN3 as CH0 input (MUXB)
ADCHSbits.CH0SA = 0b0010 ;  // Connect AN2 as CH0 input (MUXA)
ADCSSL = 0;

ADCON1bits.ADON = 1; // turn ADC ON
```

Pengaturan bit pada *register* ADC disesuaikan dengan *port input* ADC, *channel* yang dipakai dan beberapa pengaturan lainnya. Pin RB2 dan RB3 sebagai *input* nilai tegangan dan arus melalui *ADCBUF0* dan *ADCBUF1*.

```
  ADCON1bits.SAMP = 1;    // START SAMPLING
IFS0bits.ADIF = 0; // clear interrupt
while (IFS0bits.ADIF); // conversion done?
{

VOLT = ADCBUF0;     // membaca ADC untuk tegangan
CURRENT = ADCBUF1;     // membaca ADC untuk arus
}
```

Setelah nilai tegangan dan arus sudah dirubah menjadi digital. Kemudian mencari nilai daya dan turunannya serta turunan dari tegangan.

```
//PROSES PERHITUNGAN
dVOLT = VOLT - VOLT_0;
VOLT_0 = VOLT;
V = VOLT;
I = CURRENT;
POWER = V*I;
dPOWER = POWER - POWER_0;
POWER_0 = POWER;
```

Berikutnya mengolah nilai tersebut kedalam rumus / persamaan *Perturb and Observe*. Persamaan / metode yang diturunkan berdasarkan kurva karakteristik *photovoltaic* sebagai pemaksimal daya.

```
    if ((dPOWER > 0)&&(dVOLT > 0))  // dP POS dV POS
      duty = duty - delta;
    else if ((dPOWER > 0)&&(dVOLT < 0))   // dP POS dV NEG
      duty = duty + delta;
    else if ((dPOWER < 0)&&(dVOLT > 0))    // dP NEG dV POS
      duty = duty + delta;
    else if ((dPOWER < 0)&&(dVOLT < 0))    // dP NEG dV NEG
      duty = duty - delta;
      else
       duty = duty + delta;
//PEMBATASAN NILAI duty
    if (duty >PR1)
      duty = PR1-10;
   else if (duty < 20)
      duty = 20;
   ADCValue2 = duty;
```

Diperoleh suatu nilai ADCValue2 hasil dari pengolahan persamaan *Perturb and observe*. Nilai ini akan dimodulasi dengan sinyal segitiga. Menggunakan fitur *Timer Interrupt* dapat membangkitkan sinyal segitiga yang terkontrol dengan beberapa *register Timer Interrupt*.

```
void Timer1Int() iv IVT_ADDR_T1INTERRUPT {
  T1IF_bit = 0;              // Clear T1IF
  ADCON1bits.SAMP = 1;    // START SAMPLING
IFS0bits.ADIF = 0; // clear interrupt
```

Setelah ini adalah melihat posisi rotor yang dideteksi.

```
if ((RD1_bit==1)&&(RB4_bit==1)&&(RB5_bit==0))
K2() ;

if ((RD1_bit==1)&&(RB4_bit==0)&&(RB5_bit==0))
K3() ;

if ((RD1_bit==1)&&(RB4_bit==0)&&(RB5_bit==1))
K4() ;

if ((RD1_bit==0)&&(RB4_bit==0)&&(RB5_bit==1))
K5() ;

if ((RD1_bit==0)&&(RB4_bit==1)&&(RB5_bit==1))
K6() ;

if ((RD1_bit==0)&&(RB4_bit==1)&&(RB5_bit==0))
K1() ;
  }
```

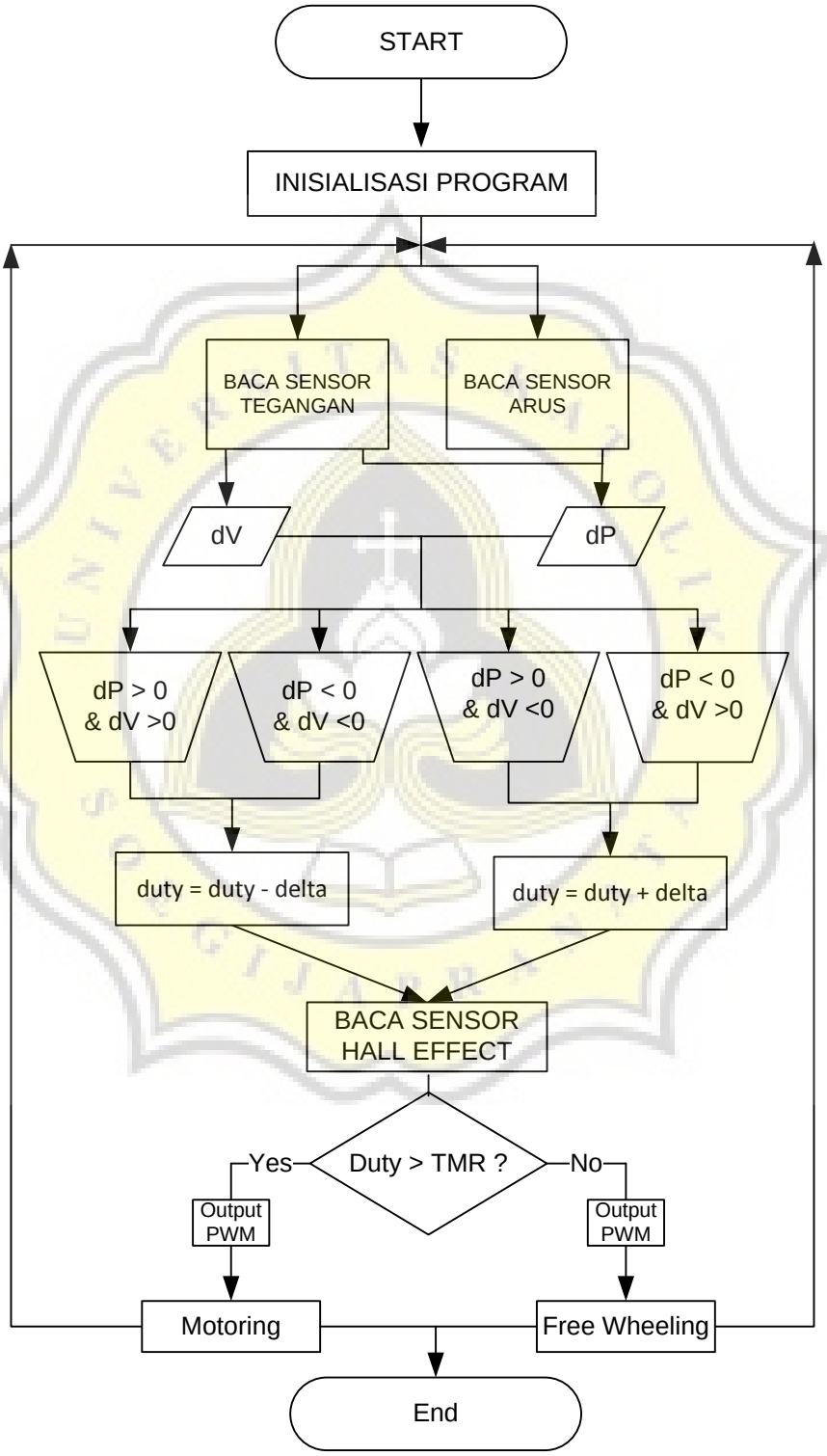
Tahap akhir pemrograman yaitu menentukan apakah akan dieksekusi sebagai *motoring* atau *free wheeling*. PWM akan selalu berubah-ubah ketika nilai arus dan tegangan yang telah disensor juga berubah.

```
//================program utama============================

void K1()  //A-B 0 3
{
if (ADCValue2 >TMR1)
LATE = 0b0000000000001001 ;
else
LATE = 0b0000000000001000 ;
}

void K2()   //A-C 0 5
{
if (ADCValue2 >TMR1)
LATE = 0b0000000000100001 ;
else
LATE = 0b0000000000100000 ;

}
void K3()  //B-C 2 5
{
if (ADCValue2 >TMR1)
LATE = 0b0000000000100100 ;
else
LATE = 0b0000000000100000 ;

void K4()   //B-A  2 1
{
if (ADCValue2 >TMR1)
LATE = 0b0000000000000110 ;
else
LATE = 0b0000000000000010 ;
}
void K5()  //C-A 4 1
{
if (ADCValue2 >TMR1)
LATE = 0b0000000000010010 ;
else
LATE = 0b0000000000000010 ;
}
void K6()   //C-B  4 3
{
if (ADCValue2 >TMR1)
LATE = 0b0000000000011000 ;
else
LATE = 0b0000000000001000 ;
```

Sisi keluaran pada *dsPIC30F4012* menggunakan *PORTE* sebagai *output* pensaklaran PWM. Selanjutnya menuju ke *buffer* 74HC541 sebagai penguat keluaran PWM sebelum menuju ke *driver* pada rangkaian daya.

Dengan program yang telah disusun sedemikian rupa seperti di atas ditujukan sebagai pengontrol Inverter tiga fasa untuk memaksimalkan daya

photovoltaic dan sebagai driver motor BLDC. Berikut adalah diagram alir (*flowchart*) dari pemrograman di atas, Gambar 3.16.



Gambar 3.16. *Flowchart* Pemrograman