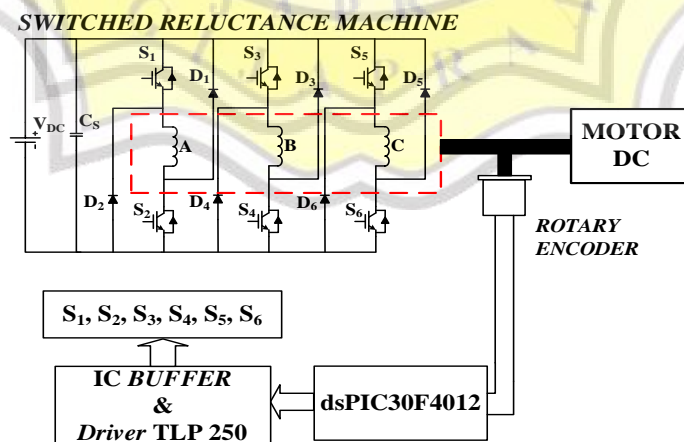


BAB III

RANCANGAN KENDALI PENGGERMAN REGENERATIF PADA SRM

3.1. Pendahuluan

Pada bab ini dijelaskan langkah-langkah perancangan sistem pengereman regeneratif pada SRM menggunakan metode *magnetizing-demagnetizing* dengan pengaturan nilai *duty cycle*. Motor DC sebagai *prime mover* untuk memutar rotor SRM sehingga menghasilkan sudut putar rotor yang dikonversi oleh *rotary encoder* menjadi informasi posisi rotor. Informasi tersebut akan ditransfer ke mikrokontroler dsPIC30F4012 yang dilengkapi dengan fasilitas *input capture* untuk mengubah data digital menjadi data *integer* yang akan diolah menjadi sinyal keluaran berupa sudut *on*, sudut *off* dan *duty cycle*. Sinyal keluaran mikrokontroler akan dikirimkan ke IC *buffer* 74HC541N dan *driver* TLP 250 untuk proses pensaklaran. Arus pengisian ke baterai dapat dilihat menggunakan sensor arus LEM LA 50-P. Skema sistem pengereman regeneratif pada SRM dapat dilihat pada Gambar-3.1.



Gambar-3.1 Skema pengereman regeneratif pada SRM

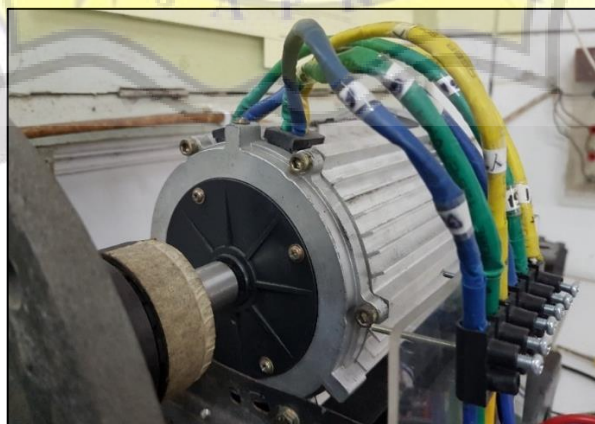
3. 2. Konstruksi SRM

SRM yang digunakan pada penilitan ini adalah SRM yang memiliki 12 kutub stator dan 8 kutub rotor. Mesin ini dapat dioperasikan sebagai kendaraan listrik dan dapat beroperasi pada kecepatan rendah hingga tinggi. Spesifikasi SRM yang digunakan dapat dilihat pada Tabel-3.1.

Tabel-3.1. Spesifikasi SRM

Parameter	Nilai	Satuan
Jumlah Fasa	3	Fasa
Kutub Stator	12	-
Kutub Rotor	8	-
Kecepatan Nominal	5600	RPM
Tegangan Nominal	48	Volt DC
Arus Nominal	27	Ampere
Daya Nominal	1200	Watt
Torsi Nominal	2.0	N.m

SRM tiga fasa dilengkapi dengan kabel fasa 1, fasa 2, fasa 3. Pada Gambar-3.2, ditunjukkan gambar SRM yang digunakan pada penelitian. Kabel warna kuning menunjukkan fasa 1, kabel warna hijau menunjukkan fasa 2 dan kabel warna biru menunjukkan fasa 3. Rotor mesin terbuat dari inti besi dan tidak memiliki magnet permanen ataupun belitan sehingga dapat beroperasi pada kecepatan dan suhu yang tinggi.

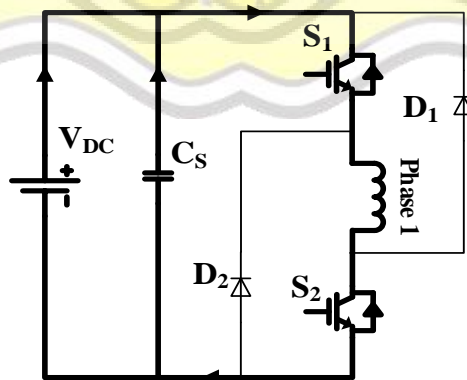


Gambar-3.2 SRM tiga fasa

3.3. Prinsip Kerja Pengereman Regeneratif SRM Menggunakan Metode *Magnetizing-Demagnetizing*

Pengereman regeneratif SRM dapat dilakukan dengan menggunakan metode *single pulse*, tetapi metode *single pulse* tidak efektif untuk pengereman pada kecepatan rendah. Karena nilai EMF balik yang rendah, arus fasa tidak stabil pada kecepatan rendah. Pengaturan arus yang mengalir pada belitan stator dapat membuat pengereman pada SRM lebih optimal. Oleh karena itu, dengan mengatur tegangan menggunakan metode *multiple pulse* atau PWM (*Pulse Width Modulation*) yang diterapkan pada saklar beserta *duty cycle* yang optimal, nilai arus fasa dapat disesuaikan untuk menghasilkan metode pengereman regeneratif yang lebih baik. Metode yang akan dibahas dalam makalah ini adalah metode *multiple pulse magnetizing-demagnetizing*, yang mengacu pada pengaturan *duty cycle* untuk mengatur arus pada belitan stator.

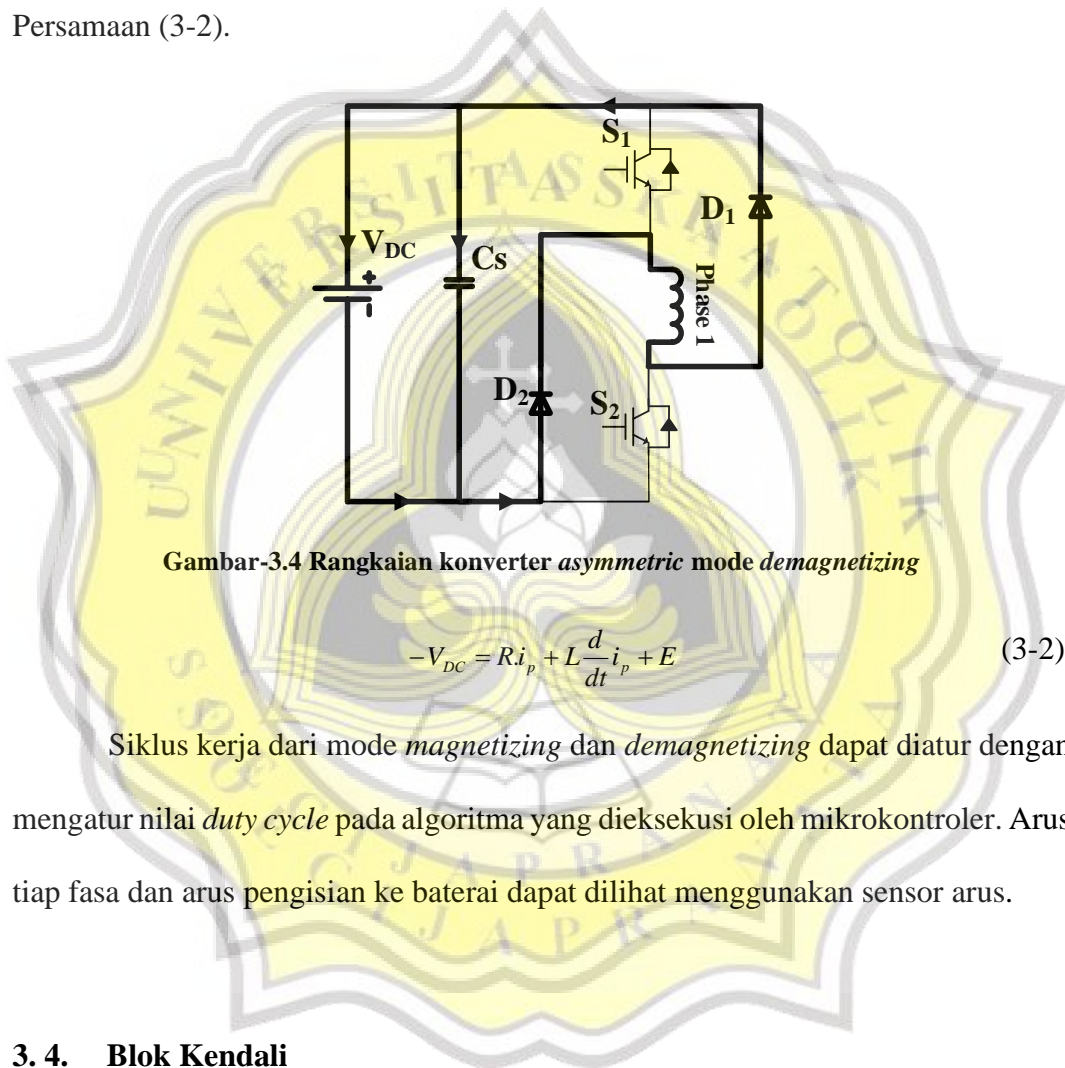
Mode *magnetizing* menggunakan saklar S_1 dan S_2 , yang beroperasi secara bersamaan dan mengeksitasi arus ke belitan fasa, sehingga tegangan $+V_{DC}$ akan terhubung ke belitan fasa seperti ditunjukkan pada Gambar-3.3 dan dirumuskan pada Persamaan (3-1).



Gambar-3.3 Rangkaian konverter *asymmetric mode magnetizing*

$$+V_{DC} = Ri_p + L \frac{d}{dt} i_p + E \quad (3-1)$$

Dalam mode *demagnetizing*, saklar S_1 dan S_2 dimatikan secara bersamaan, dan energi dalam belitan fasa mengalir ke sumber melalui D_1 dan D_2 , menghasilkan tegangan $-V_{DC}$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar-3.4 dan dirumuskan pada Persamaan (3-2).



Gambar-3.4 Rangkaian konverter *asymmetric mode demagnetizing*

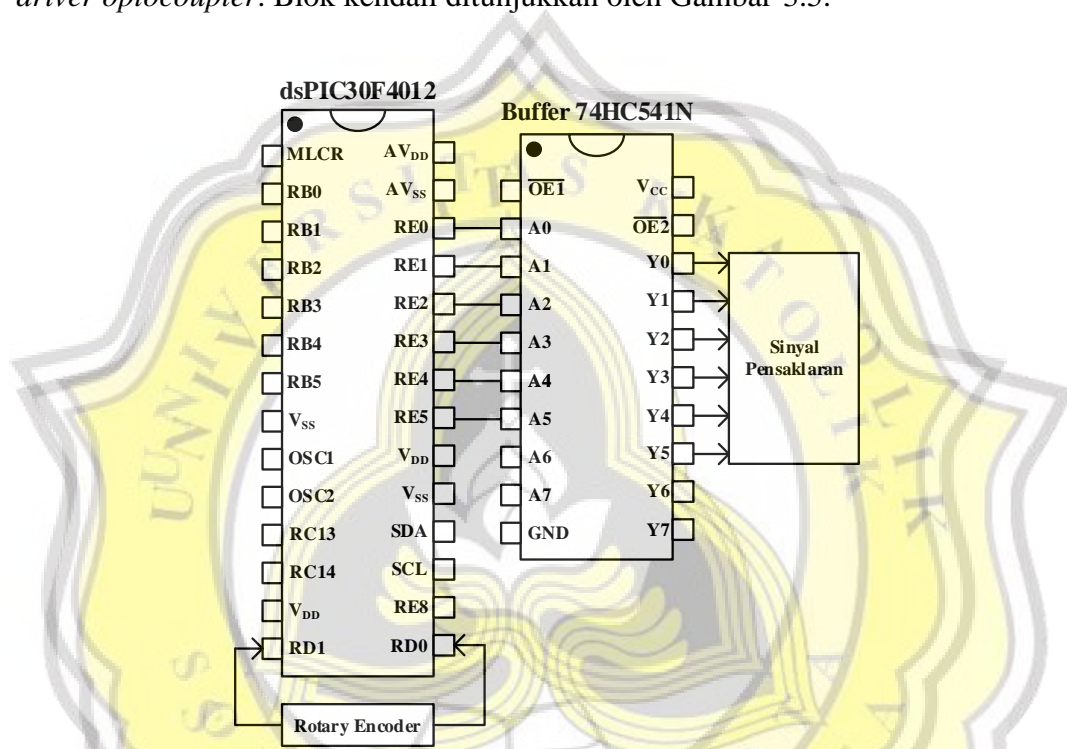
$$-V_{DC} = Ri_p + L \frac{d}{dt} i_p + E \quad (3-2)$$

Siklus kerja dari mode *magnetizing* dan *demagnetizing* dapat diatur dengan mengatur nilai *duty cycle* pada algoritma yang dieksekusi oleh mikrokontroler. Arus tiap fasa dan arus pengisian ke baterai dapat dilihat menggunakan sensor arus.

3. 4. Blok Kendali

Blok kendali berfungsi untuk mengendalikan operasi komponen dan SRM. Blok kendali terdiri dari mikrokontroler dan IC *buffer*. Mikrokontroler yang digunakan pada penelitian ini adalah dsPIC30F4012 yang memiliki keunggulan seperti *clock 16-bit* dengan eksekusi instruksi sebanyak 30 MIPS (*Mega Instruction*

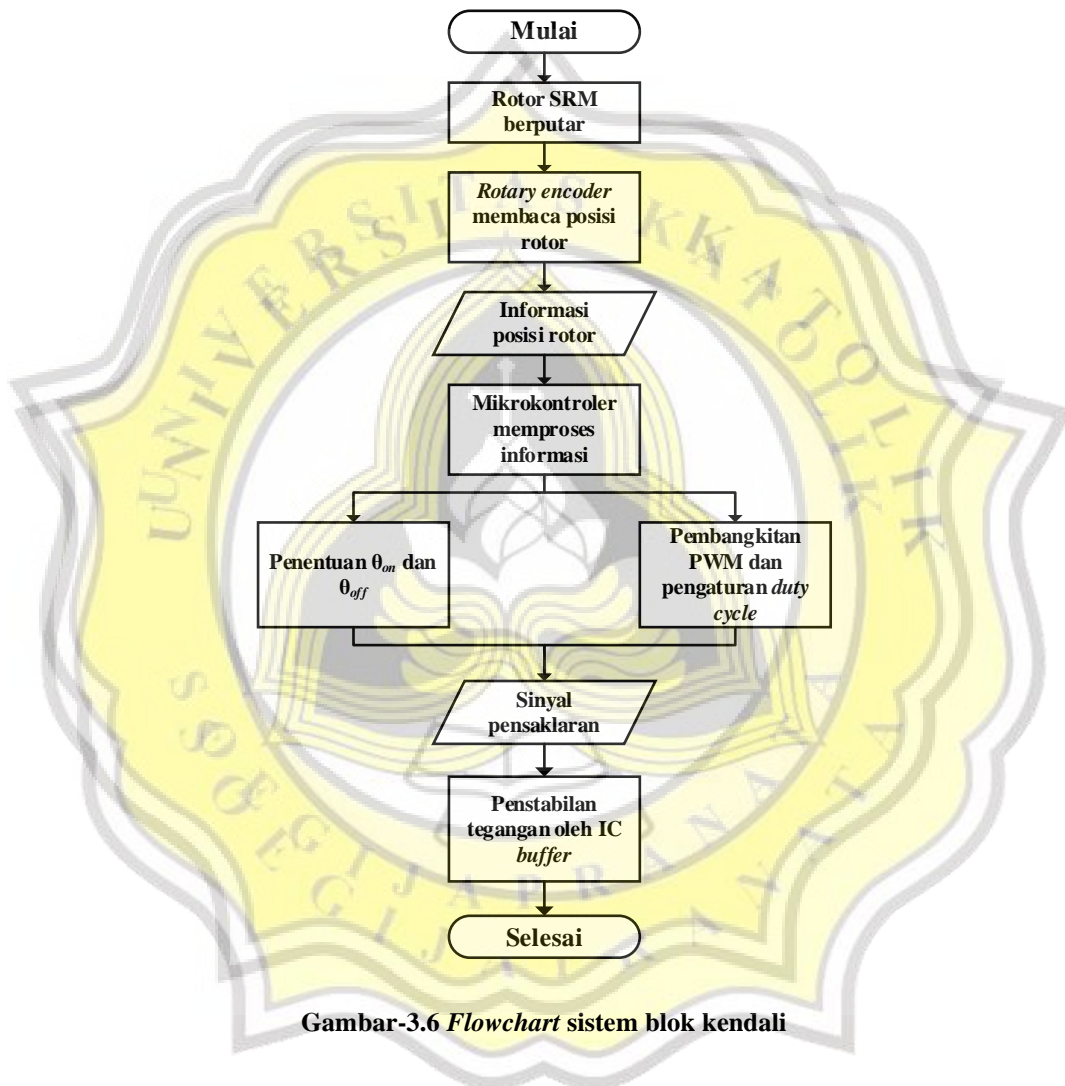
per Second). Mikrokontroler ini akan mengeksekusi algoritma untuk menghasilkan sinyal pensaklaran yang dibutuhkan. Sinyal pensaklaran yang dihasilkan oleh mikrokontroler akan diteruskan ke IC *buffer* 74HC541N. IC *buffer* ini digunakan untuk menstabilkan tegangan pada sinyal pensaklaran sebelum masuk ke rangkaian *driver optocoupler*. Blok kendali ditunjukkan oleh Gambar-3.5.



Gambar-3.5 Skema blok kendali sistem

Pada Gambar-3.5 ditunjukkan skema blok kendali sistem pengereman regeneratif SRM menggunakan metode *magnetizing-demagnetizing* dengan pengaturan *duty cycle*. Sinyal hasil pembacaan posisi rotor akan diteruskan ke mikrokontroler dsPIC30F4012 menggunakan fasilitas *input capture* melalui pin D0 dan D1. Informasi posisi rotor akan diolah sesuai algoritma untuk menentukan sudut penyalan (θ_{on}) dan pemadaman (θ_{off}). Selama proses penyalan dan pemadaman, pensaklaran metode *magnetizing-demagnetizing* akan berjalan dengan

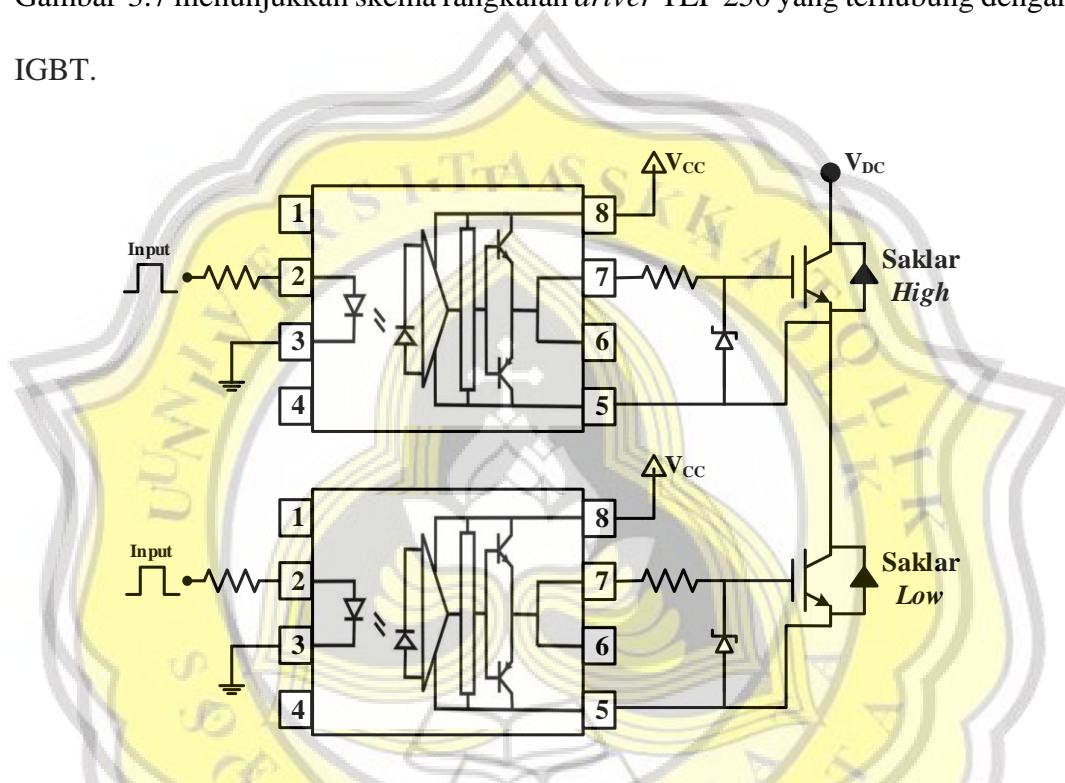
nilai *duty cycle* yang telah ditentukan. Sinyal pensaklaran merupakan keluaran dari pin E0-E5 pada mikrokontroler dsPIC30F4012. Sinyal pensaklaran tersebut nantinya akan distabilkan oleh IC *buffer* 74HC541N untuk diteruskan ke rangkaian *driver*. Alur kerja sistem blok kendali dapat dilihat pada Gambar-3.6.



3. 5. Rangkaian *Driver* TLP 250

Pada rangkaian *driver*, digunakan komponen *optocoupler* yang umum digunakan sebagai *driver* untuk konverter yaitu TLP 250. TLP 250 merupakan *optocoupler* yang digunakan untuk mengirim sinyal keluaran berupa pulsa

pensaklaran dari blok kendali (dsPIC30F4012 dan IC *buffer* 74HC541N). TLP 250 ini berfungsi menguatkan sinyal pensaklaran yang didapat dari IC *buffer* 74HC541N yang memiliki tegangan 5 Volt menjadi 12 Volt sesuai dengan tegangan kaki *gate* IGBT. Suplai daya untuk TLP 250 menggunakan tegangan 12 Volt DC. Gambar-3.7 menunjukkan skema rangkaian *driver* TLP 250 yang terhubung dengan IGBT.

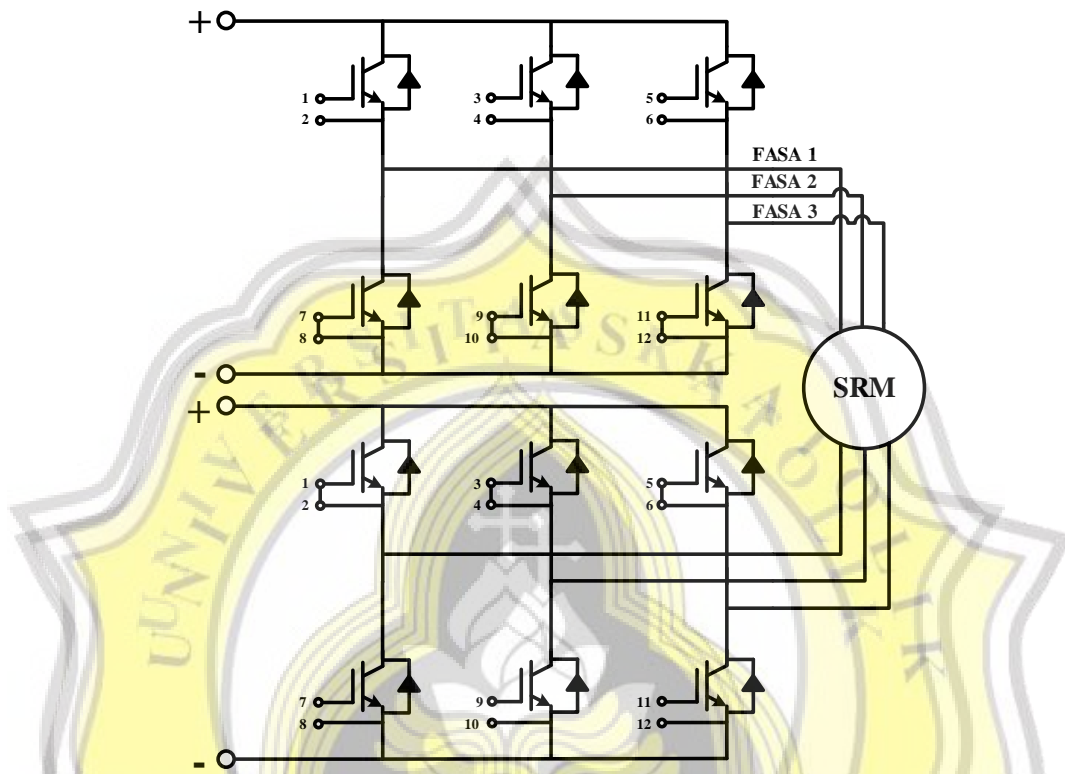


Gambar-3.7 Skema rangkaian *driver* TLP 250

3. 6. Konverter *Asymmetric*

Pengereman regeneratif SRM menggunakan metode *magnetizing-demagnetizing* dengan pengaturan *duty cycle* akan diaplikasikan menggunakan konverter *asymmetric*. Konverter ini menggunakan enam buah saklar statis dan enam buah dioda. Pada penelitian ini digunakan IGBT Semikron SKM25GD125D

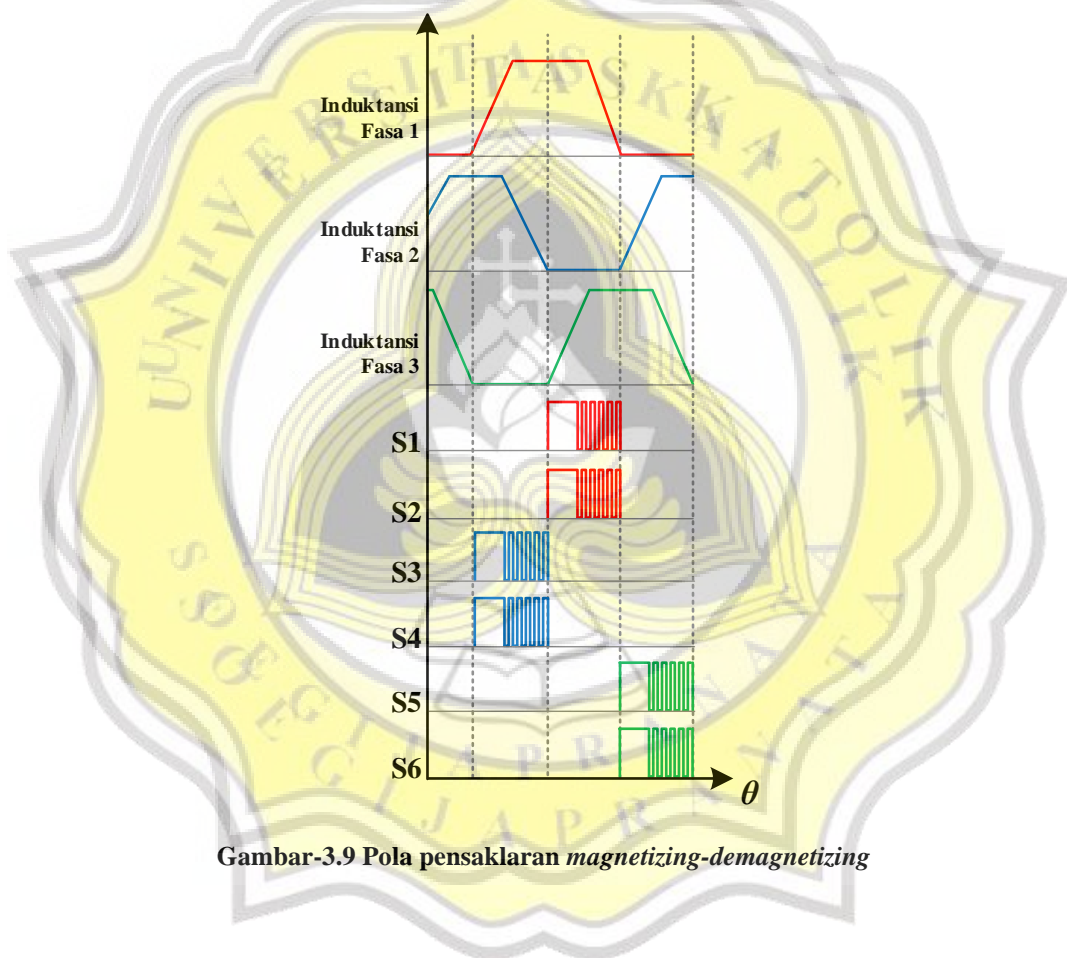
sebagai konverter. Dengan memanfaatkan terminal-terminal pada IGBT, konverter *asymmetric* dapat dirancang dengan skema seperti pada Gambar-3.8.



Gambar-3.8 Skema rangkaian konverter *asymmetric* menggunakan dua buah IGBT

Kaki *gate* pada IGBT akan menerima sinyal pensaklaran dari *driver* TLP250. Saklar-saklar IGBT akan beroperasi sesuai dengan mode operasi pensaklaran yang telah diprogram. Pada saat *magnetizing*, maka saklar *high* dan *low* akan menyala bersamaan sehingga arus dari sumber akan mengalir dari *collector* ke *emitter* menyebabkan tegangan positif terhubung ke belitan fasa dan menimbulkan GGL balik. Pada saat *demagnetizing*, maka saklar *high* dan *low* akan mati bersamaan sehingga arus dari belitan dan energi GGL balik akan mengalir ke baterai melalui dioda *freewheeling*.

Dengan mengasumsikan satu putaran penuh pada SRM adalah 360° mekanik maka pada deteksi posisi rotor menggunakan *rotary encoder* dan *input capture*, mikrokontroler dapat merubah derajat mekanik tersebut menjadi 360° elektrik. Dengan diketahuinya nilai derajat elektrik, maka pensaklaran untuk proses pengereman regeneratif SRM dapat dilakukan. Gambar 3.9 menunjukkan pola pensaklaran *magnetizing-demagnetizing* berdasarkan induktansi fasa.

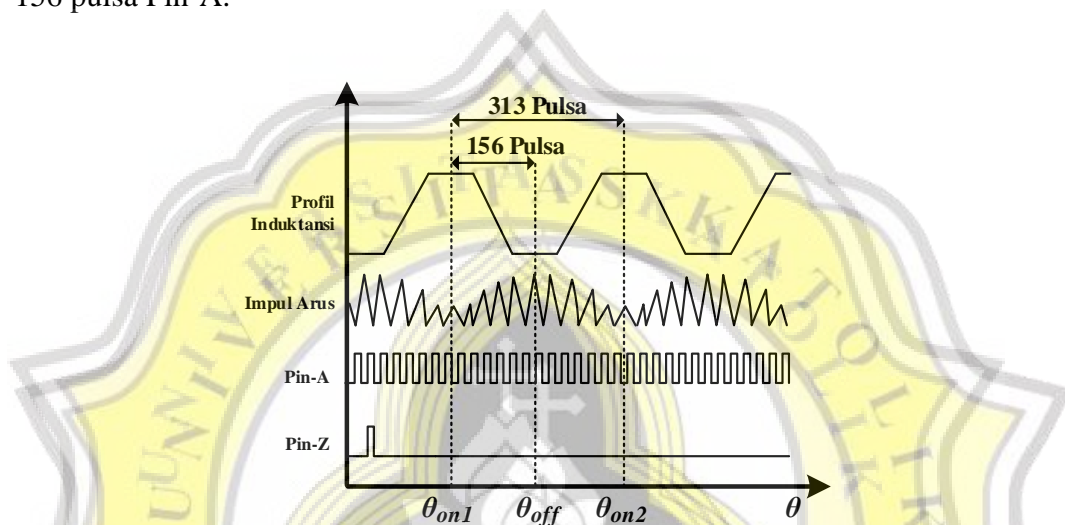


Gambar-3.9 Pola pensaklaran *magnetizing-demagnetizing*

3.7. Rotary Encoder

Rotary encoder merupakan perangkat yang digunakan untuk melakukan pembacaan posisi rotor. Informasi posisi rotor digunakan sebagai referensi untuk penentuan sudut penyalaan dan pemadaman. Pada penelitian ini, rotary encoder

3.11. Pin-A menghasilkan 2500 pulsa per putaran, dan Pin-Z menghasilkan satu pulsa per putaran. SRM yang digunakan pada percobaan ini memiliki delapan buah rotor, sehingga dalam satu putaran terdapat delapan induktansi. Setiap induktansi menggunakan 313 pulsa Pin-A, dan untuk pengereman regeneratif menggunakan 156 pulsa Pin-A.

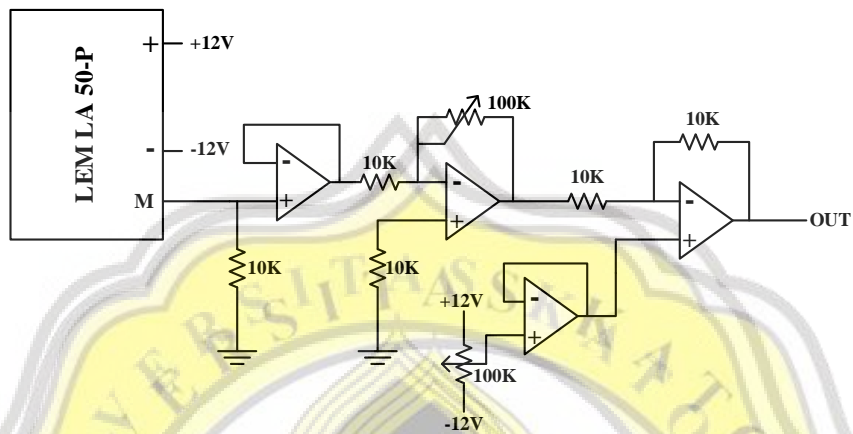


Gambar-3.11 Pemetaan pulsa rotary encoder

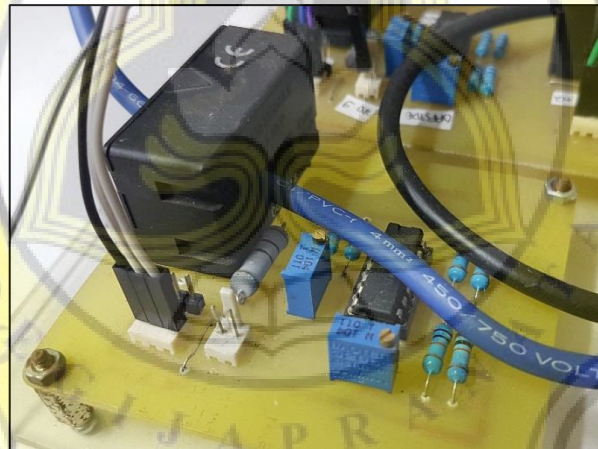
3. 8. Rangkaian Sensor Arus LEM LA 50-P

Pada penelitian ini, digunakan sensor arus LEM LA 50-P. Sensor ini digunakan dengan cara memasukan kabel fasa melewati lubang pada sensor. Sensor ini bekerja dengan cara mengkonversi nilai arus hingga 50 Ampere menjadi nilai tegangan agar dapat terbaca oleh mikrokontroler. Sensor arus ini tidak berjalan sendiri, oleh karena itu diperlukan komponen tambahan seperti IC Op-Amp KF347, resistor 10K ohm, dan resistor variabel 100K Ohm untuk pengaturan *gain* dan *offset*. Rangkaian sensor arus ini memerlukan suplai tegangan +12 Volt DC, -12 Volt DC dan *ground*. Agar dapat terbaca oleh dsPIC30F4012, maka sensor arus

diatur agar memiliki *offset* 2,5 Volt DC. Skema rangkaian sensor arus LEM LA 50-P dapat dilihat pada Gambar-3.12 dan bentuk fisik rangkaian sensor arus LEM LA 50-P dapat dilihat pada Gambar-3.13.



Gambar-3.12 Skema rangkaian sensor arus LEM LA 50-P



Gambar-3.13 Rangkaian sensor arus LEM LA 50-P yang digunakan