

# BAB III

## DESAIN RANCANGAN DAN IMPLEMENTASI PENINGKATAN KINERJA *SWICLED RELUCTANCE* *GENERATOR* DENGAN PERGESERAN SUDUT PENYALAAAN

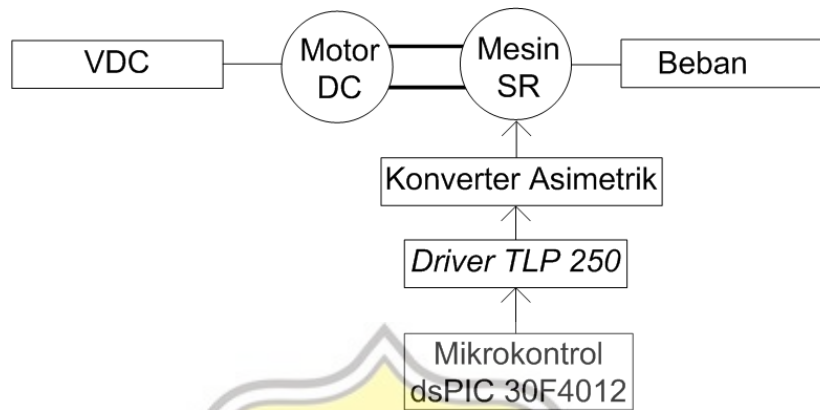
### 3.1 Pendahuluan

Pada bab ini dijelaskan desain perancangan dan implementasi *Switched Reluctance Generator* dengan pergeseran sudut penyalaan menggunakan metode pensaklaran *single pulse* dengan beberapa rangkaian pendukung. Beberapa rangkaian pendukung dalam implementasi ini yaitu rangkaian *driver*, rangkaian sensor arus LEM HX-10P, dan rangkaian *isolated power supply DC-DC*.

### 3.2 Prinsip Kerja Peningkatan Kinerja *Switched Reluctance Generator* dengan Pergeseran Sudut Penyalaan dengan Metode *Single Pulse*

*Switched Reluctance Generator* (SRG) adalah generator hasil dari pengembangan mesin SR. Hal ini karena, mesin SR memiliki beberapa keunggulan seperti memiliki desain yang sederhana dan perawatan yang mudah. Oleh sebab itu mesin SR dikembangkan menjadi SRG, karena tidak memerlukan adanya *slip ring* dalam proses eksitasi. Pada pembangkit listrik tenaga angin, SRG terus dikembangkan selain perawatan yang mudah dan murah karena SRG dapat menghasilkan keluaran arus yang optimal. Keluaran yang optimal dapat dilakukan dengan cara menggeser sudut penyalaan SRG dengan metode pensaklaran *single*

*pulse* yang diatur oleh konverter *asymmetric*. Blok diagram SRG menggunakan konverter *asymmetric* disajikan pada Gambar-3.1.

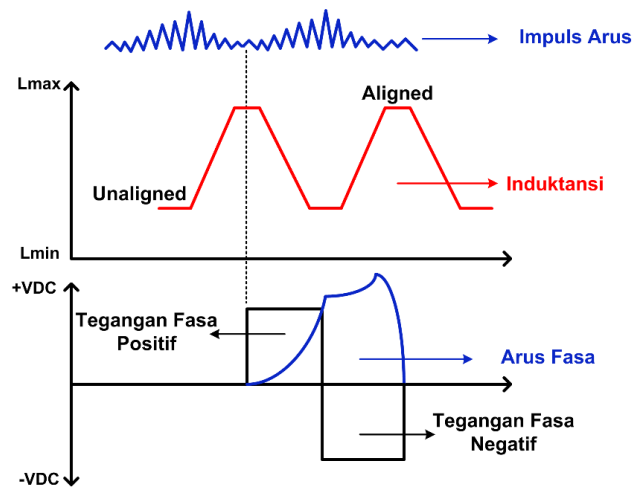


**Gambar-3. 1 Blok Diagram SRG**

Mikrokontroler akan memberikan sinyal modulasi pulsa pada pesaklaran konverter dan dideteksi oleh sensor arus. Hasil keluaran dari sensor arus dapat disebut impuls arus seperti pada Gambar-3.2. Keluaran impuls arus akan menunjukkan induktansi yang terjadi pada SRG, selanjutnya hasil tersebut akan disejajarkan dengan referensi dari sensor *hall effect*. Pada pengujian ini Mesin SR yang digunakan memiliki spesifikasi mesin seperti pada Tabel-3.1.

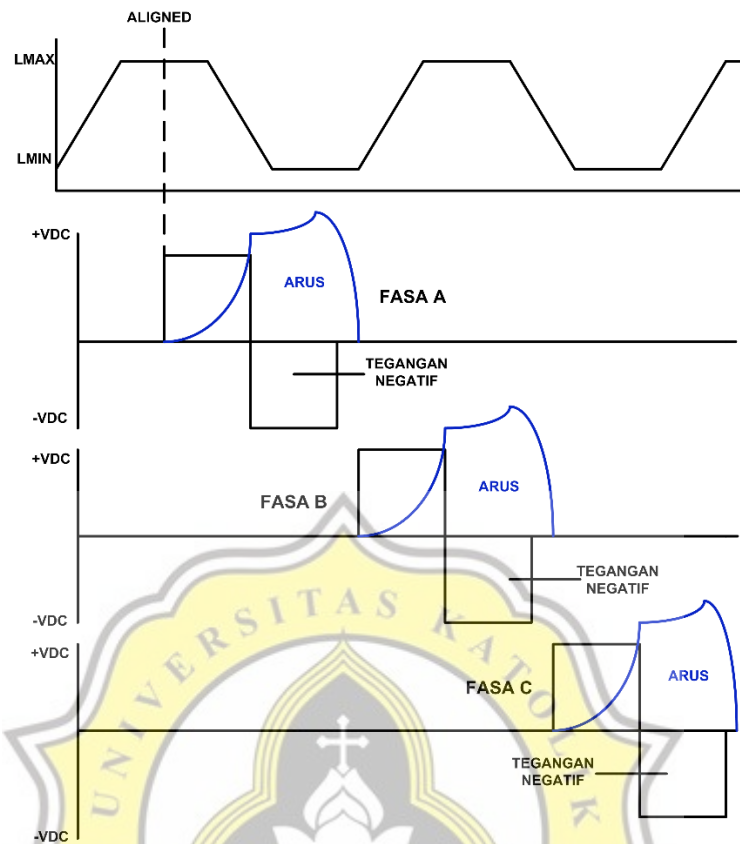
**Tabel-3. 1 Spesifikasi Mesin *Switched Reluctance***

Parameter	Nilai	Unit
Jumlah Fasa	3	-
Jumlah Stator	12	-
Jumlah Rotor	8	-
Tegangan	12	VDC
Resistansi	3.3	Ohm ( $\Omega$ )
Induktansi	1.4	Mh
Kecepatan	1600	RPM



Gambar-3. 2 Sudut Penyalaan Berdasarkan Hasil Keluaran Impuls Arus

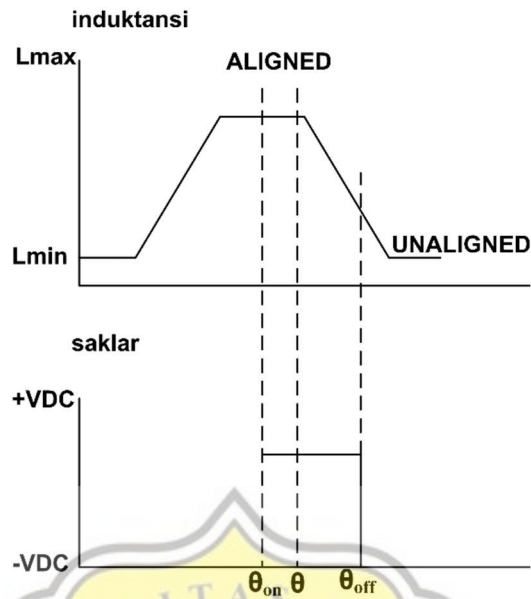
Posisi induktansi pada SRG ditentukan berdasarkan letak rotor dan stator pada SRG. Jika rotor bergerak mendekati stator, induktansi yang dihasilkan akan semakin menguat. Kondisi ini merupakan kondisi rotor dan stator dalam posisi *aligned* atau sejajar. Selanjutnya, rotor akan bergerak menjauhi stator. Induktansi yang dihasilkan pada kondisi ini mulai mengalami penurunan. Kondisi ini merupakan kondisi rotor dan stator dalam *unaligned*. Pada SRG, eksitasi akan diberikan saat kondisi induktansi maksimal. Saklar akan dimatikan dan mengaktifkan mode *demagnetizing* saat induktansi mulai mengalami penurunan. Kondisi penyalaan saklar pada wilayah induktansi inilah yang disebut dengan metode *single pulse*. Pensaklaran pada setiap fasa dengan metode *single pulse* ditunjukkan pada Gambar-3.3.



Gambar-3. 3 Penyalan Setiap Fasa SRG Berdasarkan Induktansi

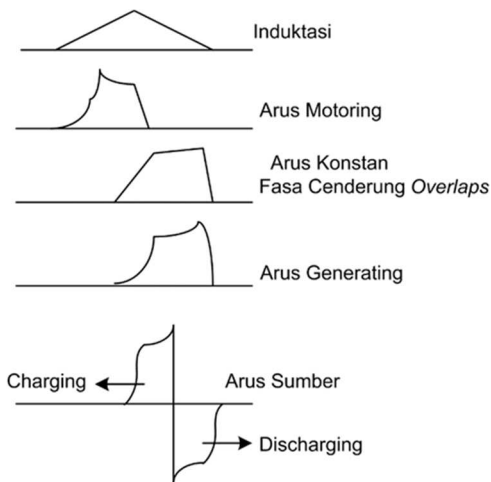
### 3.2.1 Pengaturan Sudut Penyalan SRG

Sudut penyalan pada SRG memiliki parameter seperti eksitasi,  $\theta_{on}$  dan  $\theta_{off}$ . Eksitasi pada SRG akan diatur oleh pensaklaran pada konverter. Saat posisi induktansi meningkat maka SRG akan mulai diberikan eksitasi melalui mode *magnetizing*. Mode *magnetizing* terjadi saat kondisi  $\theta_{on} < \theta < \theta_{off}$  seperti pada Gambar-3.4.



Gambar-3. 4 Penyalakan Saklar pada  $\theta_{on} < \theta < \theta_{off}$

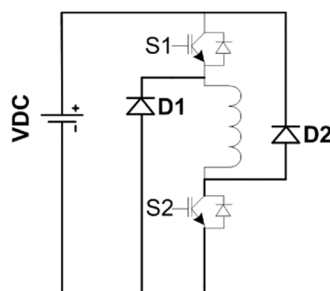
Proses *magnetizing* terjadi saat rotor bergerak mendekati stator atau kondisi *aligned*. Saat induktansi maksimal,  $\theta_{on}$  akan dinyalakan melalui pensaklaran pada konverter. Kondisi *aligned* akan menjadikan rotor sebagai magnet sesaat. Rotor yang telah diberikan eksitasi, akan menginduksi stator sehingga menghasilkan *back-EMF*. Mode *magnetizing* berakhir saat  $\theta = \theta_{off}$ . Selanjutnya SRG akan beroperasi pada wilayah induktansi minimum dan menghasilkan bentuk gelombang arus ideal *generating* seperti pada Gambar-3.5 [15].



Gambar-3. 5 Bentuk Gelombang Arus Ideal

Setelah diberi eksitasi dengan menggunakan mode *magnetizing*, selanjutnya SRG akan beroperasi di wilayah induktansi minimum. SRG akan ada pada mode operasi *freewheeling* yaitu, saat SRG akan mengalirkan *back-EMF* melalui dioda. *Back-EMF* yang tersisa akan tersimpan dan dikembalikan ke sumber selama proses *generating* atau ( $\theta_{off} < \theta < \theta_x$ ) melalui mode operasi *demagnetizing* seperti Gambar-3.6.

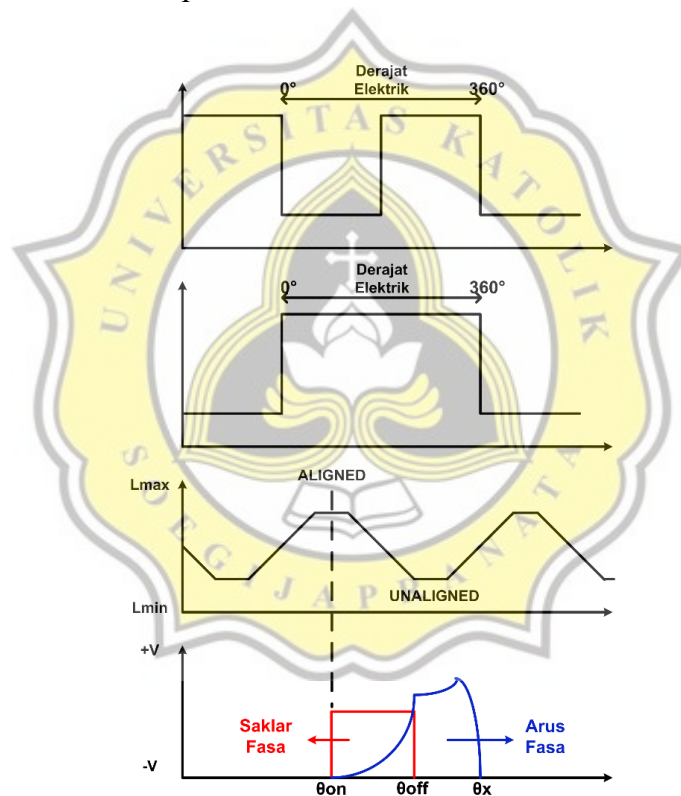
*Back-EMF* merupakan tegangan balik yang dihasilkan dari stator yang diinduksi rotor kemudian, rotor akan menjadi magnet sementara. *Back-EMF* inilah yang digunakan untuk meningkatkan kinerja pada SRG.



Gambar-3. 6 Mode Operasi *Demagnetizing*

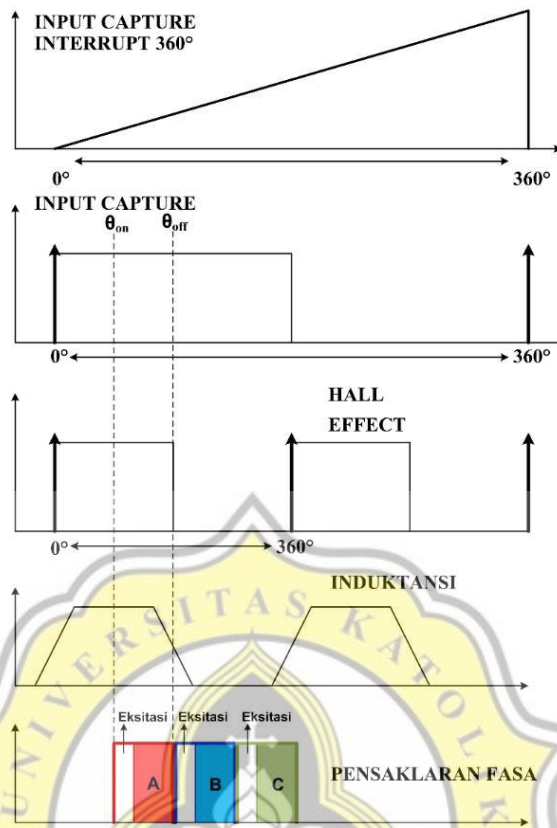
### 3.2.2 Menentukan Sudut Penyalan dengan Metode *Input Capture*

Sudut penyalan atau proses pemberian eksitasi meliputi dua parameter penyalan, yaitu  $\theta_{on}$  dan  $\theta_{off}$  pada SRG. sudut penyalan dapat ditentukan dengan menggunakan metode *input capture* fasilitas dari mikrokontroler dsPIC 30F4012. *Input capture* akan bekerja dengan mengubah sinyal digital hasil pembacaan sensor *hall effect* menjadi nilai interger [16]. Hasil pembacaan sensor *hall effect* memiliki nilai  $0^\circ - 360^\circ$  elektrik seperti Gambar-3.7.



Gambar-3. 7 Penyalan Fasa Berdasarkan *Input Capture*

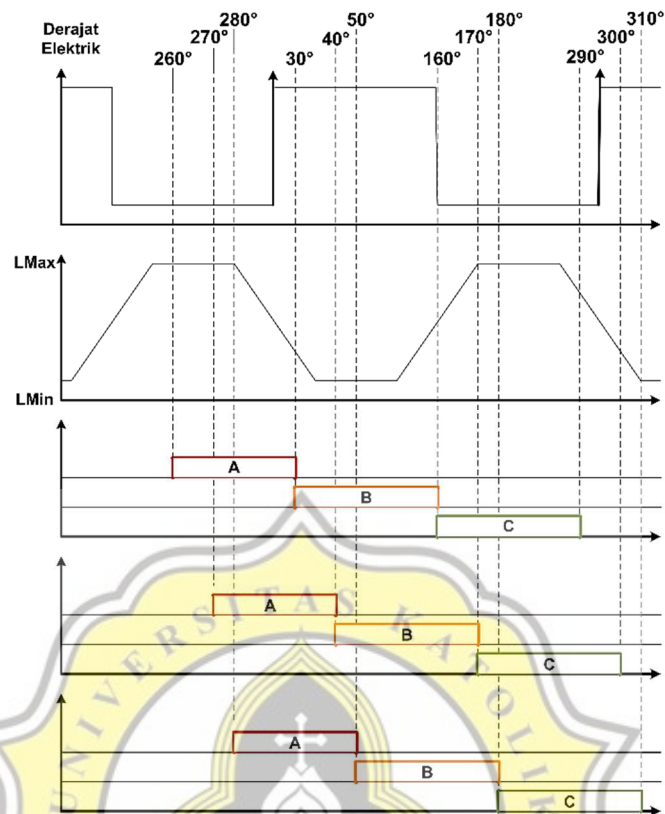
Hasil pembacaan dari sensor *hall effect* akan digunakan sebagai referensi untuk membangkitkan *input capture interrupt* seperti pada Gambar-3.8.



Gambar-3. 8 Pola Pensaclaran dengan Referensi Hall effect Menggunakan Metode *Input Capture*

Metode *input capture* memiliki nilai  $0^\circ - 360^\circ$  yang didapatkan dari nilai maksimum *timer interrupt* sebesar  $360^\circ$  derajat elektrik [16], [17]. Berbeda dengan nilai *input capture*, pada simulasi *Simulink MATLAB*  $360^\circ$  derajat elektrok dari nilai maksimum *timer interrupt* akan diasumsikan dengan  $90^\circ$  derajat mekanik *MATLAB*. Berikut ini adalah hasil nilai sudut penyalaan menggunakan metode *input capture* berdasarkan referensi pembacaan sensor *hall effect* yang ditunjukkan pada Gambar-3.9.





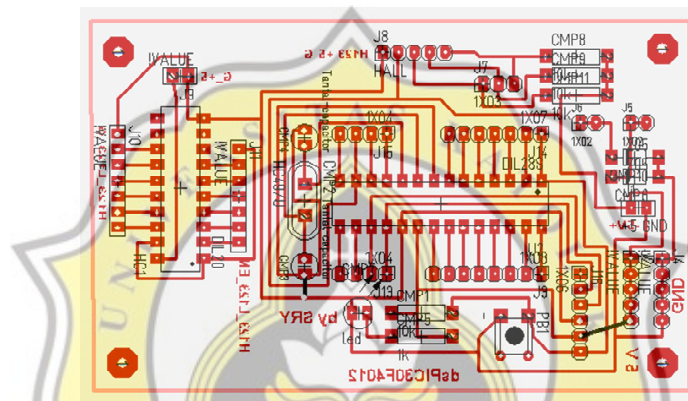
Gambar-3. 9 Nilai Sudut Penyalaaan dengan Metode *Input Capture* berdasarkan Referensi *Hall Effect*

### 3.3 Blok Kendali

Blok kendali yang digunakan pada penelitian ini ada blok kendali *Digital Signal Controller* (DSC) tipe dsPIC30F4012. Mikrokontrol dsPIC 30F4012 memerlukan kapasitor dan kristal untuk dapat membangkitkan *clock* eksternal. Mikrokontrol jenis ini memiliki kemampuan instruksi sebesar 30 *Mega Instruction per Second* (MIPS) [14]. Selain itu dsPIC 30F4012 menawarkan beberapa keunggulan seperti memiliki instruksi khusus yang dapat mempercepat instruksi umum dalam satu instruksi. *Compiler* dari dsPIC 30F4012 juga memiliki

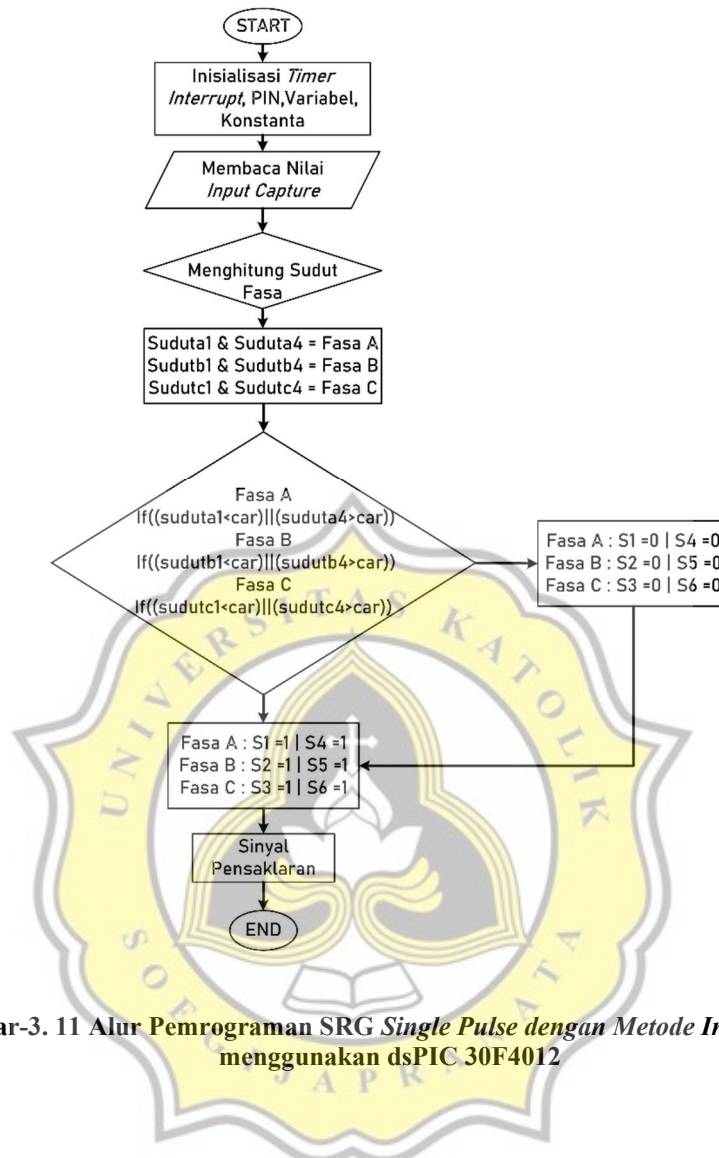
keunggulan pada banyaknya *library* yang ada, sehingga program yang dibuat menjadi lebih sederhana seperti LCD, PWM, dan ADC.

Metode *Input capture* dibangkitkan dengan menggunakan fasilitas dari mikrokontroler ini. Sehingga eksitasi yang diberikan dan penempatan sudut penyalan SRG dapat lebih akurat. Rangkaian mikrokontroler dsPIC 30F4012 dapat dilihat pada Gambar-3.10.



Gambar-3. 10 Rangkaian Mikrokontrol dsPIC 30F4012

Untuk dapat mengoperasikan SRG dengan metode *input capture*, alur pemrograman menggunakan mikrokontroler dsPIC 30F4012 dapat dilihat pada Gambar -3.11.



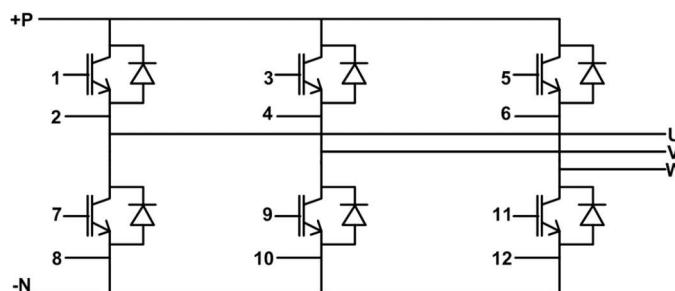
**Gambar-3. 11 Alur Pemrograman SRG *Single Pulse* dengan Metode *Input Capture* menggunakan dsPIC 30F4012**

Gambar-3.11 menjelaskan alur pemrograman dari SRG dengan metode pensaklaran *single pulse* menggunakan *input capture* fasilitas dsPIC 30F4012. Pertama Mesin SR akan diputar menggunakan motor DC dengan tegangan 50VDC. Selanjutnya mikrokontrol akan memberikan sinyal masukan berupa modulasi pulsa pada pensaklaran konverter. Hasil pensaklaran tersebut selanjutnya akan dideteksi oleh sensor arus dan menghasilkan keluaran berupa impuls arus. Hasil keluaran impuls arus akan disejajarkan dengan sensor *hall effect* yang terpasang pada mesin SR sebagai referensi. Selanjutnya hasil pembacaan akan diolah menjadi sinyal

masukannya untuk diubah menjadi nilai *integer* oleh fasilitas *input capture*. Proses tersebut digunakan untuk mengaktifkan sudut penyalan pada SRG. Kondisi pertama yaitu untuk mengaktifkan pensaklaran pada mode operasi *magnetizing* sehingga rotor menjadi magnet sesaat. Kondisi kedua yaitu kondisi untuk mengaktifkan pensaklaran pada mode *demagnetizing* atau proses *generating*. Dimana kondisi ini merupakan kondisi mengembalikan *back-EMF* yang masih tersimpan pada belitan kembali ke sumber.

### 3.4 Konverter *Asymmetric*

Untuk dapat mengatur pensaklaran pada SRG dibutuhkan konverter. Konverter yang umumnya digunakan pada SRG seperti *asymmetric*, *N+1 Miller*, dan *C-dump*. Pada penelitian ini, jenis konverter yang digunakan adalah konverter dengan tipe *asymmetric*. Konverter *asymmetric* yang digunakan pada penelitian ini memiliki saklar daya berupa IGBT Semikron SKM 40GD123D yang terdiri atas enam buah IGBT sebagai saklar dan enam buah sebagai dioda. Pensaklaran pada IGBT ini diatur oleh *input capture* fasilitas dsPIC 30F4012. Rangkaian IGBT Semikron SKM 40GD123D ditunjukkan pada Gambar-3.12.

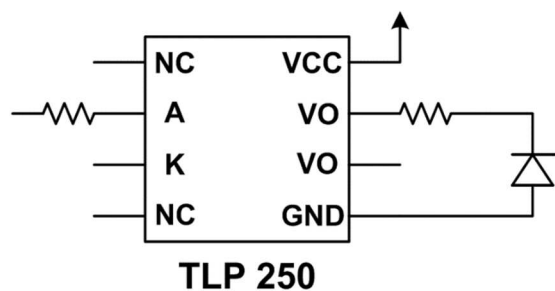


Gambar-3. 12 Rangkaian IGBT Semikron SKM 40GD123D

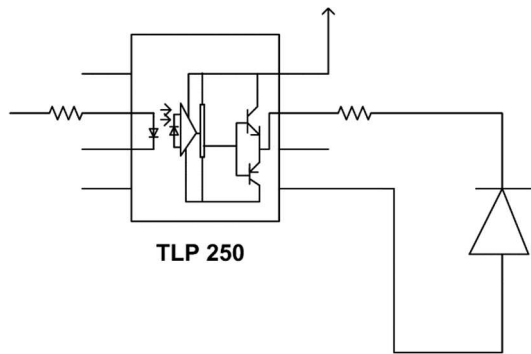
### 3.5 Rangkaian Driver

Rangkaian *driver* merupakan salah satu rangkaian yang digunakan pada SRG. Salah satu komponen utama yang ada pada rangkaian ini adalah *photoelectric coupler*. Rangkaian *driver* akan menghubungkan antara mikrokontroler yang beroperasi saat tegangan kecil dan arus kecil dengan rangkaian daya yang beroperasi saat tegangan dan arus besar. *Photoelectric coupler* memiliki tegangan masukan dan keluaran dengan *grounding* berbeda.

Fungsi utama rangkaian ini adalah mengatur pensaklaran IGBT sesuai dengan program mikrokontroler. Rangkaian ini menggunakan *photoelectric coupler* tipe TLP 250. Sinyal masukan dari TLP 250 berupa sinyal digital. Jika mikrokontroler memberikan tegangan 5VDC maka logika 1 akan membangkitkan tegangan tersebut. sebaliknya, jika mikrokontroler tidak memberikan tegangan maka logika 0 tidak membangkitkan tegangan. Tegangan masukan dari TLP250 akan menyesuaikan mikrokontrol dan tegangan keluaran memiliki catu daya terpisah. Berikut ini adalah rangkaian *driver* dengan menggunakan *photoelectric coupler* jenis TLP 250 yang ditunjukkan pada Gambar-3.13 dan rangkaian skematik pada Gambar-3.14.



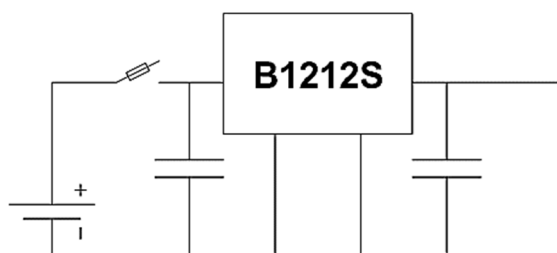
Gambar-3. 13 Rangkaian Driver Photoelectric Coupler TLP 250



**Gambar-3. 14 Rangkaian Skematik *Photoelectric Coupler* TLP 250**

### **3.6 Rangkaian *Isolated Power Supply***

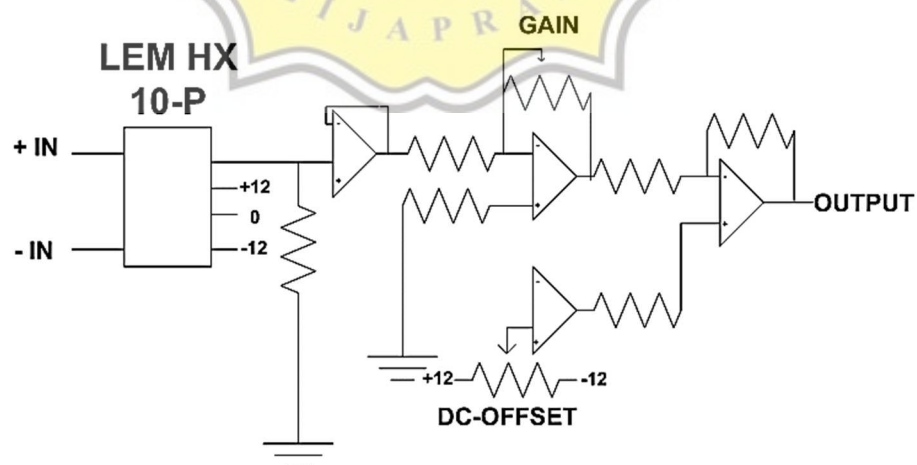
Rangkaian *isolated power supply* merupakan rangkaian untuk memberikan daya pada rangkaian *driver*. Setiap lengan pada rangkaian *driver* memiliki *grounding* yang berbeda. Hal ini dikarenakan tegangan keluaran pada rangkaian *driver* memiliki catu daya yang terpisah. Komponen elektronika yang digunakan pada rangkaian *isolated power supply* terdiri atas B1212s, kapasitor, dan *fuse*. B1212s merupakan komponen yang memiliki empat pin terdiri dari dua pin sebagai masukan tegangan dan dua pin sebagai keluaran tegangan. Tegangan masukan dan tegangan keluaran pada komponen ini memiliki *grounding* yang berbeda dengan sumber DC. Berikut adalah skematik rangkaian *isolated power supply* dengan B1212s yang ditunjukkan pada Gambar-3.15.



**Gambar-3. 15 Rangkaian Skematik *Isolated Power Supply***

### 3.7 Sensor Arus

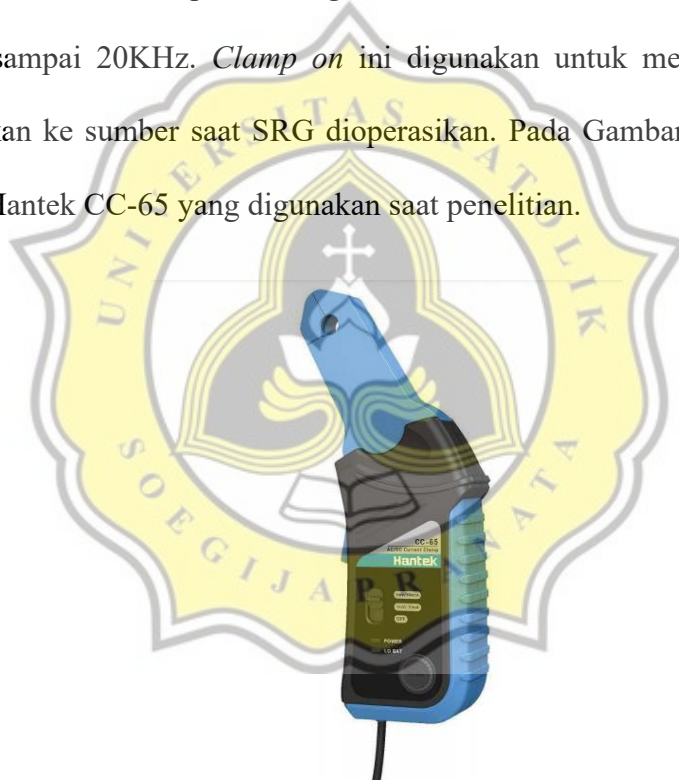
Sensor arus merupakan alat yang digunakan untuk mendeteksi arus pada suatu rangkaian. Umumnya, sensor arus digunakan untuk mendeteksi arus yang masuk ke beban dan batere. Sensor arus yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor arus jenis *Current Transformer* (CT) dengan tipe LEM HX-10P. Sensor ini memiliki kemampuan mendeteksi arus maksimal sebesar 10A dengan tegangan 12V. Sensor arus ini memerlukan catu daya simetris karena dapat bekerja dengan tegangan +12V dan -12V. Sensor arus ini bekerja dengan mengubah nilai arus menjadi tegangan. Pada rangkaian sensor arus ini ditambahkan rangkaian penguat *op-amp* yang berfungsi sebagai penguat, mengatu *dc-offset*, dan *gain* dari keluaran tegangan sensor. Sensor arus ini akan digunakan untuk menghasilkan *impuls* arus pada SRG sehingga, dapat diketahui posisi induktansi pada Mesin SR. Berikut ini adalah rangkaian sensor arus LEM HX-10P dengan *op-amp* seperti pada Gambar-3.16.



Gambar-3. 16 Rangkaian Skematik Sensor Arus LEM HX-10P dengan *Op-amp*

### 3.8 *Clamp On*

*Clamp on* adalah salah satu peralatan listrik untuk mengukur arus tanpa harus memutus *circuit* arus tersebut. *clamp on* umumnya lebih dikenal dengan sebutan *tang ampere* atau *ampere meter (current clamp)*. *Clamp on* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan *clamp on* merek Hantek CC-65. *Clamp on* ini dapat digunakan untuk mengukur arus baik AC maupun DC. *Clamp on* Hantek CC-65 memiliki kemampuan mengukur arus maksimal sebesar 65A dengan frekuensi sampai 20KHz. *Clamp on* ini digunakan untuk mengukur arus yang dikembalikan ke sumber saat SRG dioperasikan. Pada Gambar-3.17 ditunjukkan *clamp on* Hantek CC-65 yang digunakan saat penelitian.



Gambar-3. 17 *Clamp on* Hantek CC-65

*Clamp on* Hantek CC-65 digunakan untuk mengukur arus yang dihasilkan SRG dengan membandingkan dengan hasil keluaran osiloskop. Pada osiloskop, terdapat *features* untuk melihat Irms yang dihasilkan. Pada *clamp on* memiliki spesifikasi 1mV setara dengan 10mA [18].