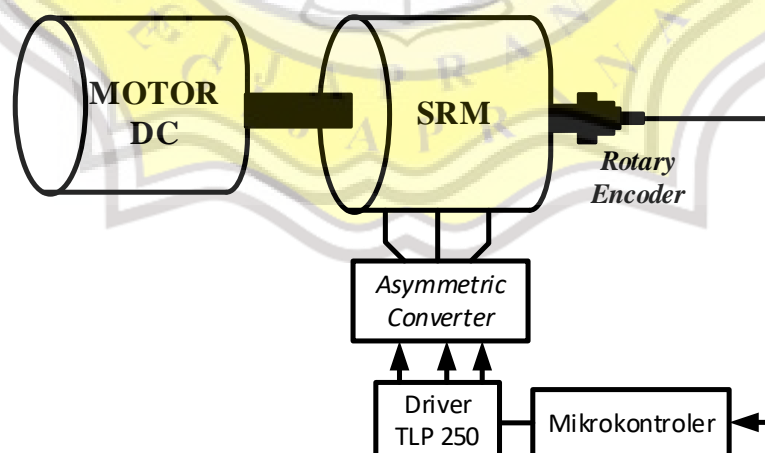


BAB III

RANCANG KENDALI OPTIMASI Pengereman REGENERATIF PADA SRM MENGGUNAKAN METODE MAGNETIZING-FREEWHEELING

3.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan dijelaskan desain dari kendali pengereman regeneratif pada SRM menggunakan metode magnetizing-freewheeling. Desain kendali dimulai dari deteksi posisi rotor untuk menentukan sudut eksitasi yang tepat menggunakan rotary encoder. Proses deteksi posisi rotor hingga menjadi sebuah sinyal ekstasi dilakukan dengan metode *input capture*. Hasil dari proses input capture tersebut akan diolah menjadi sebuah sinyal pensaklaran melalui mikrokontroler untuk kemudian driver akan mengendalikan konverter asimetrik berdasarkan sinyal pensaklaran tersebut. Gambar-3.1 adalah desain diagram blok kendali dari pengereman regeneratif pada SRM.



Gambar- 3.1 diagram blok kendali dari pengereman regeneratif pada SRM

Gambar-3.1 menunjukkan SRM yang dihubungkan dengan motor DC sebagai *prime mover*. Penggabungan ini bertujuan untuk menyimulasikan mekanisme pengereman kendaraan listrik pada skala laboratorium. SRM akan diputar hingga rentang kecepatan tertentu lalu dilakukan pengereman regeneratif menggunakan metode *magnetizing-freewheeling*.

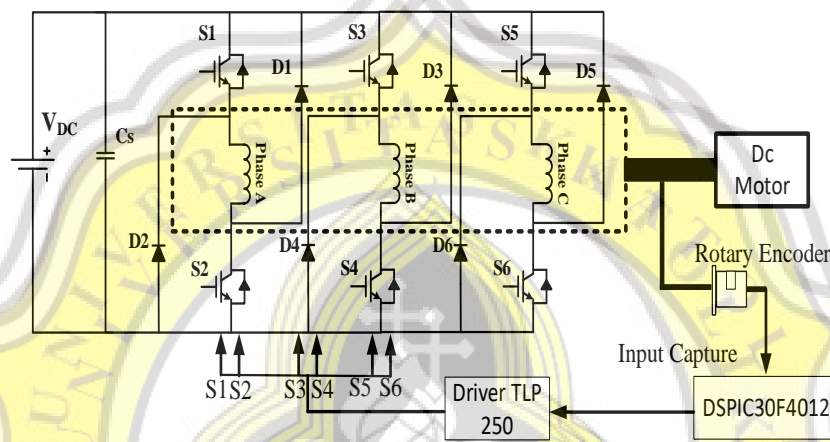
Metode pengereman regeneratif *magnetizing-freewheeling* adalah metode baru yang diajukan pada Tugas Akhir ini. Metode ini akan memanipulasi kerja pensaklaran dari konverter asimetrik. Untuk menggunakan metode ini dapat dilakukan dengan mengubah sinyal pensaklaran berdasarkan posisi rotor melalui mikrokontroler.

3.2 Pengereman Regeneratif dengan Metode *Magnetizing-freewheeling*

Pengereman regeneratif adalah salah satu teknik pengereman pada kendaraan listrik dimana kelebihan energi kinetik yang terbuang pada saat melakukan pengereman konvensional diubah menjadi energi listrik untuk mengisi baterai Kembali. Pengereman regeneratif pada SRM memanfaatkan torka negatif yang terbentuk ketika eksitasi diberikan saat posisi rotor meninggalkan stator. Ketika SRM berada kecepatan nominalnya maka torka negatif yang dihasilkan berada dalam kondisi optimal. Namun ketika SRM berada pada kecepatan rendah torka negative menjadi sedikit dan arus pengisian menuju baterai menjadi tidak optimal [19].

Pada kecepatan rendah, pengereman regeneratif pada SRM membutuhkan teknik pengaturan torka untuk menjaga nilai optimumnya. Maka dari itu dapat digunakan strategi kontrol *magnetizing – freewheeling*. Metode strategi ini akan

membuat arus inductor pada belitan fasa menjadi lebih lama habis sehingga torka negative akan bertambah [20]. Dengan menggunakan referensi input capture dari *rotary encoder* akan mempermudah penentuan sudut eksitasi yang tepat untuk metode yang digunakan. Gambar-3.2 menunjukkan skema pengereman regeneratif untuk metode *magnetizing-freewheeling*.

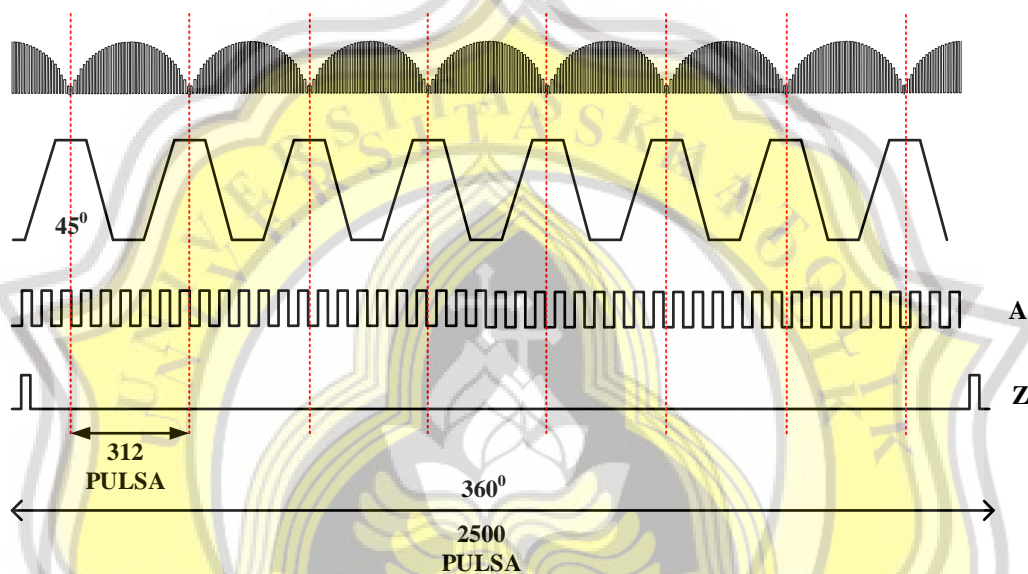


Gambar-3.2 skema pengereman regeneratif untuk metode magnetizing-freewheeling

Gambar-3.2 menunjukkan skema pengereman regeneratif pada SRM untuk metode magnetizing-freewheeling, dimana motor DC dihubungkan untuk memutar SRM. Setiap putaran SRM akan dideteksi oleh rotary encoder dengan data keluaran berupa pulsa gelombang kotak. Data pulsa dari rotary encoder berupa pulsa gelombang kotak berjumlah 2500 pulsa untuk setiap satu putarannya.

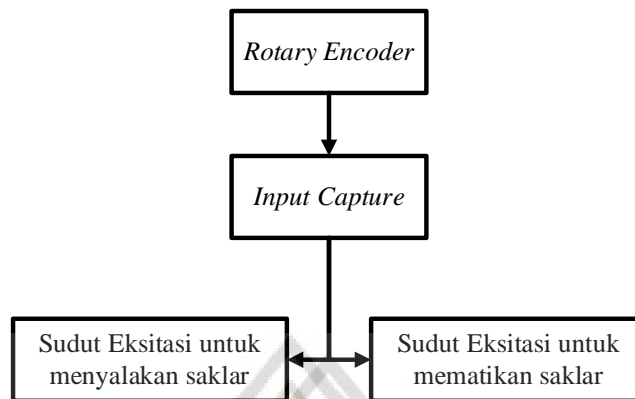
Jumlah pulsa tergantung dari jenis rotary encoder yang digunakan, pada penelitian Tugas Akhir ini rotary encoder yang digunakan adalah jenis incremental dengan nomor seri E50S8-2500-3-V-5. Artinya pada rotary encoder ini memiliki tiga output keluaran yaitu pin A, B, dan Z dengan jumlah pulsa untuk satu putarannya berjumlah 2500. Pada penelitian ini spesifikasi SRM yang

digunakan adalah 3 fasa dengan 8 buah kutub rotor dan 12 stator. Artinya pada setiap satu putaran akan ada 8 rotor dan 2500 pulsa. Sehingga nilai pulsa untuk pada setiap rotornya adalah 312 pulsa. Berdasarkan data penyalan tersebut kita dapat menentukan sudut penyalan pada SRM yaitu diantara setiap 312 pulsa. Untuk lebih jelasnya akan ditunjukkan pada Gambar-3.3.



Gambar- 3.3 Deteksi sudut menggunakan rotary encoder

Data pulsa dari rotary encoder akan di konversi menjadi nilai sudut melalui skema input capture oleh mikrokontroler dspic 30f4012. Data tersebut digunakan untuk menentukan sinyal pensaklaran ON dan OFF pada posisi sudut yang sesuai. Sinyal pensaklaran dari mikrokontroler akan dikirimkan menuju konverter asymmetric melalui driver TLP 250. Kemudian konverter asimetrik akan memberikan arus pada setiap belitan fasa sesuai dengan sinyal pensaklaran tersebut. Gambar-3.4 menunjukkan bagaimana skema penentuan sudut penyalan dari proses *input capture*.



Gambar-3.4 Skema penentuan sudut penyalan dari proses input capture

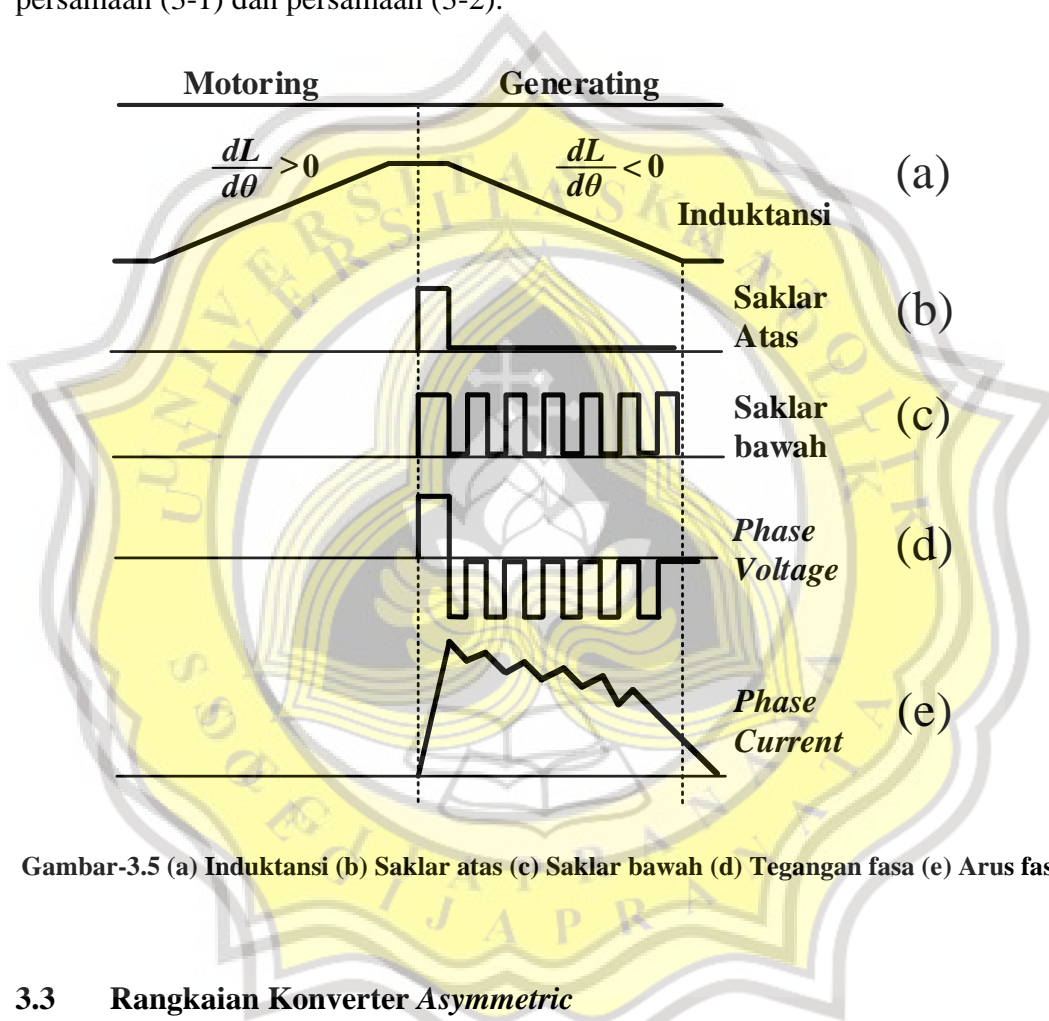
Berdasarkan bentuk sinyal pensaklaran yang ditunjukkan pada Gambar-3.4 besar nilai on dan off ketika proses *freewheeling* dapat dinyatakan sebagai.

$$ON = \frac{\theta_{on} \times inputcapture}{360} \quad (3-1)$$

$$OFF = \frac{\theta_{off} \times inputcapture}{360} \quad (3-2)$$

Pengaturan nilai on dan off pada saklar diperlukan untuk mendapatkan nilai pengereman regeneratif optimal pada metode *magnetizing-freewheeling*. Perbandingan nilai on dan off tersebut dinamakan *duty cycle*. Bentuk pensaklaran dari metode *magnetizing-freewheeling* ditunjukkan pada Gambar-3.5. Pada gambar tersebut terlihat bahwa arus fasa akan turun lebih lama karena adanya proses *freewheeling*. Proses ini akan menyebabkan arus pada induktor akan keluar lebih lama dari belitan fasa, sehingga akibatnya torka negatif akan bertambah. Pada Gambar-3.5 terdapat sinyal pensaklaran atas dan bawah. Sinyal pensaklaran atas dan bawah akan melakukan proses eksitasi terlebih dahulu. Hal ini bertujuan untuk mengubah belitan stator menjadi magnet sementara agar didapatkan nilai *back-emf* buatan. Setelah proses eksitasi adalah proses *generating*, proses ini

bertujuan untuk menghasilkan arus sebanyak mungkin untuk pengisian baterai. Kemudian pada saklar bawah setelah proses eksitasi saklar akan melakukan *freewheeling* seperti ditunjukkan pada Gambar-3.5. Besar nyala dan matinya saklar pada saat *freewheeling* diatur dengan menggunakan *duty cycle* seperti pada persamaan (3-1) dan persamaan (3-2).

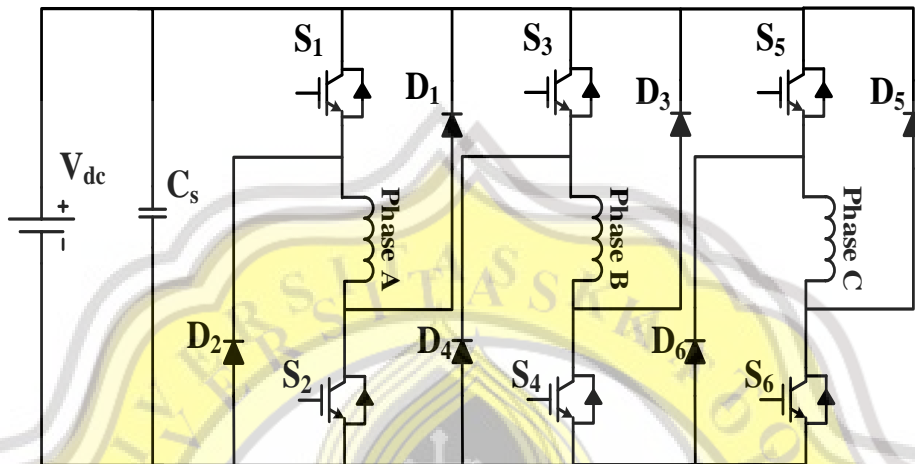


Gambar-3.5 (a) Induktansi (b) Saklar atas (c) Saklar bawah (d) Tegangan fasa (e) Arus fasa

3.3 Rangkaian Konverter *Asymmetric*

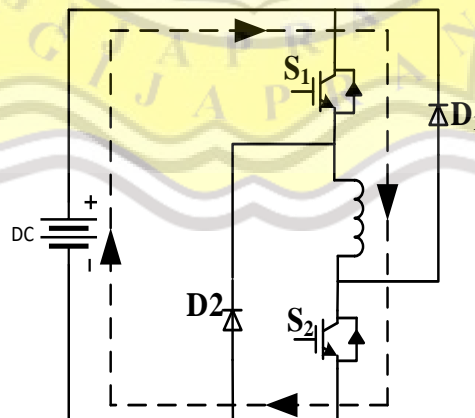
Konverter *asymmetric* merupakan jenis konverter yang sering digunakan pada kendaraan listrik, sebab converter tersebut memiliki efisiensi yang baik dan dapat digunakan untuk pengereman regeneratif. Konverter *asymmetric* merupakan jenis konverter penggerak SRM yang memiliki berbagai fitur dan mode operasi [21]. konverter *asymmetric* menggunakan dua buah IGBT dan dua buah dioda

pada setiap fasanya. Kemampuan dari converter *asymmetric* sangat bergantung dari metode pensaklaran yang digunakan [22]. Bentuk dari topologi konverter *asymmetric* ditunjukkan pada Gambar-3.6.



Gambar-3.6 Topologi konverter asymmetric

Pengereman regeneratif *magnetizing – freewheeling* memanfaatkan dua buah mode operasi yaitu *magnetizing* dan *freewheeling*. Gambar-3.7 dan Gambar-3.8 menjelaskan kedua buah mode operasi *magnetizing* dan *freewheeling*.

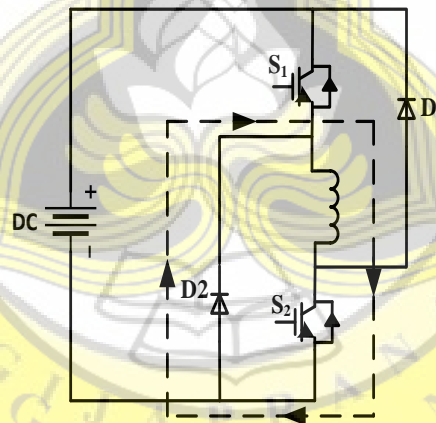


Gambar-3.7 Mode pensaklaran *magnetizing*

Seperti ditunjukkan pada Gambar-3.7 pada saat proses magnetizing, S1 dan S2 dalam kondisi ON. Sehingga arus akan mengalir menuju belitan pada stator. Pada kondisi ini belitan akan menjadi magnet sementara. Persamaan dari mode pensaklaran magnetizing dinyatakan sebagai.

$$V_{dc} = R \cdot i_{ph} + L \frac{d}{dt} i_{ph} + e \quad (3-3)$$

Persamaan (3-3) menunjukkan bahwa ketika proses *magnetizing* terjadi akan mengakibatkan arus fasa meningkat. Apabila proses *magnetizing* dilakukan pada saat nilai induktansi mulai menurun, yaitu rotor menjauhi stator maka akan dihasilkan torka negatif.



Gambar-3.8 Mode pensaklaran *freewheeling*

Gambar-3.8 adalah pola pensaklaran mode *freewheeling*. Pada kondisi ini saklar S1 akan mati dan saklar S2 akan menyala. Sehingga pada mode pensaklaran *freewheeling* arus dari inductor akan kembali melalui D2 dan terjadilah proses *freewheeling*. Proses ini menyebabkan arus pada inductor

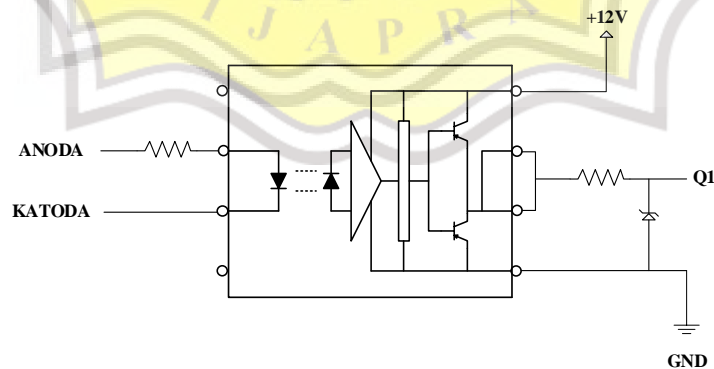
menjadi lebih lama habis. Persamaan dari mode pensaklaran freewheeling dinyatakan sebagai berikut

$$0 = R.i_{ph} + L \frac{d}{dt} i_{ph} + e \quad (3-4)$$

Persamaan (3-4) menunjukkan bahwa arus dari inductor akan dibuang secara perlahan melalui dioda. Hal ini akan menyebabkan torka negatif pada SRM akan bertambah.

3.4 Rangkaian Driver *Optocoupler* TLP 250

Rangkaian driver optocoupler TLP 250 merupakan rangkaian driver yang digunakan pada rangkaian alat Tugas Akhir ini. TLP250 berfungsi sebagai driver untuk sinyal digital dari mikrokontroler dan sinyal pensaklaran untuk mengontrol IGBT. Sinyal input dari TLP250 berupa sinyal digital dari mikrokontroler dengan tegangan 5V. Sementara itu output dari TLP250 berupa sinyal pensaklaran dengan tegangan 12V. Fungsi dari *optocoupler* pada TLP250 adalah sebagai pemisah grounding antara catu daya untuk rangkaian daya dengan sinyal digital dari mikrokontroler. Skema rangkaian driver TLP250 ditunjukkan pada Gambar-3.9.

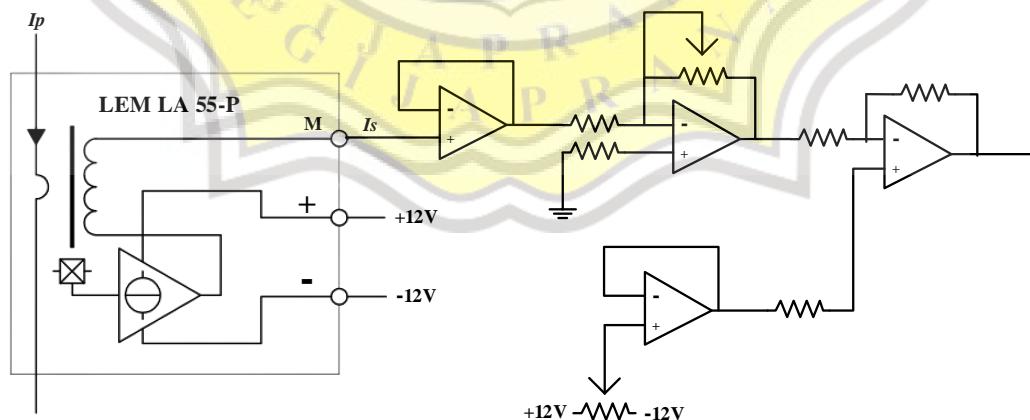


Gambar-3.9 Skema rangkaian driver TLP250

3.5 Rangkaian Sensor Arus LEM LA 50-P

Sensor arus dibutuhkan untuk mendeteksi arus fasa pada SRM ketika dilakukan pengereman regeneratif. Deteksi arus dibutuhkan untuk mengetahui hasil keluaran arus dari percobaan. Setiap mode operasi yang dilakukan pada SRM baik itu motoring ataupun generating akan menghasilkan bentuk arus fasa yang berbeda. Maka deteksi bentuk arus melalui sensor arus yang terhubung dengan osiloskop dibutuhkan.

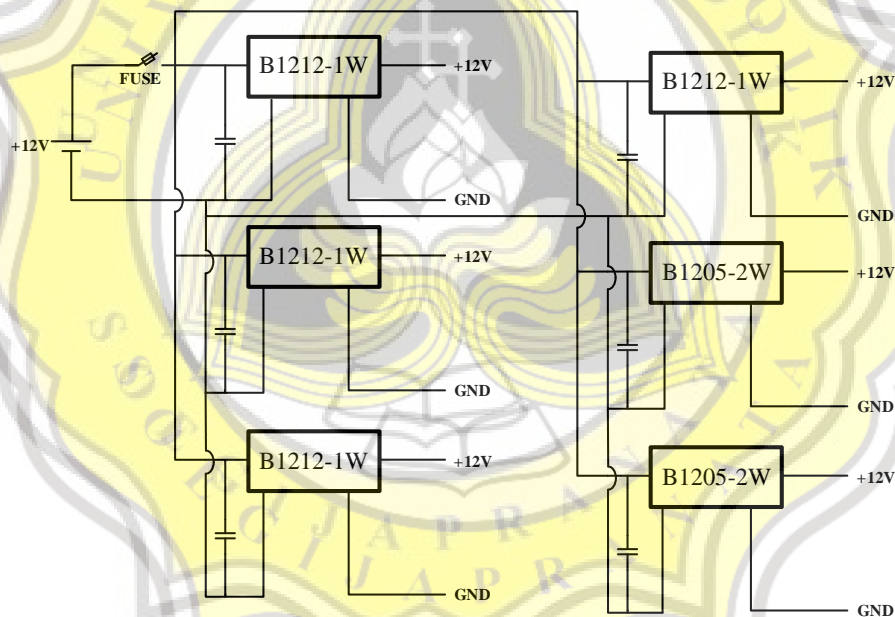
Sensor arus yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah LEM LA 50-P. Sensor ini mendeteksi arus menggunakan hall effect I_{slu} mengubahnya menjadi nilai tegangan terkur untuk kemudian tersambung dengan osiloskop. Sensor LEM LA 50-P mampu mendeteksi hingga arus nominal 50 A. Sensor LEM LA 50-P membutuhkan suplai tegangan +12V dan -12V dari catu daya simetris. Rangkaian sensor LEM LA 50-P membutuhkan rangkaian op-amp tambahan sebagai pengatur nilai DC-offset, penguat, dan gain pada keluaran tegangan. Gambar-3.10 menunjukkan rangkaian sensor arus LEM LA 50-P secara lengkap.



Gambar- 3.10 rangkaian sensor arus LEM LA 50-P

3.6 Rangkaian Catu Daya

Catu daya digunakan sebagai suplai tegangan untuk komponen-komponen yang digunakan. Catu daya diperlukan untuk menyuplai tegangan empat buah driver TLP250, IC buffer, dan Rotary encoder. Catu daya yang digunakan adalah regulator DC-DC terisolasi. Desain rancangan catu daya memiliki empat buah keluaran tegangan 12V dan dua buah keluaran tegangan 5V. Sehingga catu daya yang digunakan adalah B1212S-1W sebanyak empat buah dan B1205S-2W sebanyak dua buah. Keenam komponen tersebut dirangkai menjadi satu rangkaian seperti ditunjukkan pada Gambar-3.11.



Gambar- 3.11 Rangkaian catu daya