

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan disajikan hasil pengujian pengereman regeneratif menggunakan metode *magnetizing-freewheeling*. Pada bab ini akan disajikan hasil pengujian alat beserta penjelasan detil komponen dan parameter SRM yang digunakan. Pengujian dilakukan mulai dari proses injeksi pulsa yang akan menghasilkan impuls arus. Kemudian data tersebut akan dibandingkan dengan profil induktansi sehingga akan didapatkan acuan sudut penyalaan SRM.

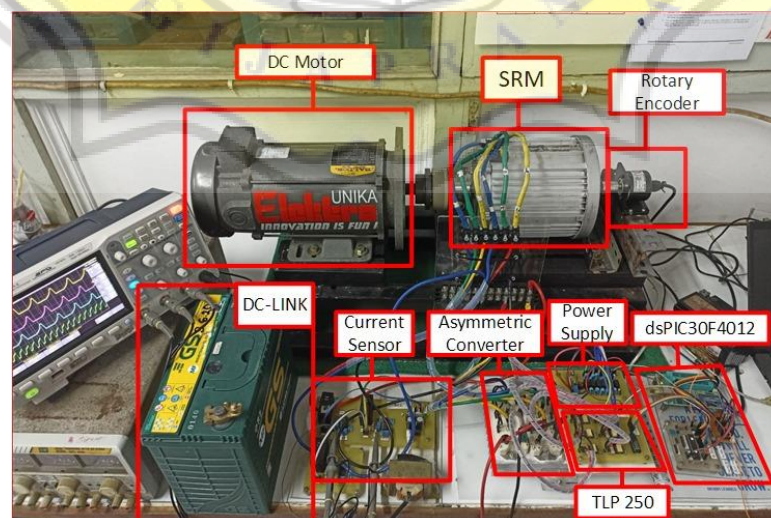
Sudut penyalaan pada proses pengereman regeneratif berada pada saat rotor meninggalkan stator. Proses ini terjadi ketika induktansi berada dari maksimum menuju minimum. Data profil induktansi akan dibandingkan dengan pulsa dari *rotary encoder* melalui proses *input capture* sehingga akan di dapati sudut dan pulsa penyalaan. Proses ini terjadi di dalam mikrokontroler dsPIC30F4012, kemudian keluaran dari mikrokontroler berupa sinyal pensaklaran untuk menyalakan konverter *asymmetric*. Untuk menggerakkan konverter *asymmetric* dibutuhkan sebuah rangkaian driver yang didalamnya terdiri dari sebuah driver *optocoupler* dan *Ic buffer*.

Pada bab ini akan disajikan data dan gambar gelombang keluaran arus pengisian baterai pada saat pengereman regeneratif menggunakan *magnetizing-freewheeling*. Data dan gambar tersebut bertujuan untuk menunjukkan hasil

percobaan. Perbedaan nilai duty cycle akan disajikan untuk menunjukkan kondisi pengereman regeneratif optimal menggunakan metode *magnetizing-freewheeling*.

#### 4.2 Hasil Implementasi Alat

Untuk memastikan hasil analisis, percobaan telah dilakukan dengan menggunakan prototype seperti ditunjukkan pada Gambar-4.1. Percobaan dilakukan dengan menggunakan SRM dengan parameter seperti ditunjukkan pada Tabel-4.1, Komponen *rotary encoder* E50S8-2500-3-V-5 digunakan pada proses *input capture*. kemudian dsPIC 30F4012 adalah mikrokontrolleryang digunakan. Rangkaian driver TLP250 berfungsi sebagai driver konverter asymmetric. IGBT Semikron SKM25GD125D adalah saklar elektronik yang digunakan pada konverter *asymmetric*. Kemudian baterai 12V berfungsi sebagai sumber DC pada rangkaian konverter. Percobaan ini berfokus pada pengaturan nilai duty cycle yang tepat untuk mencari nilai optimal pengereman regeneratif menggunakan metode *magnetizing-freewheeling*.



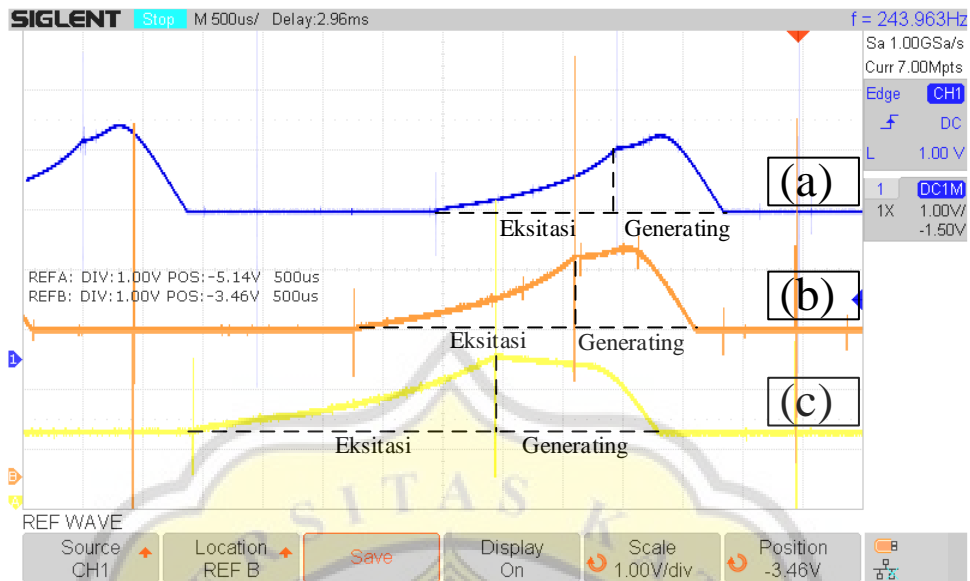
Gambar- 4.1 Implementasi alat

**Tabel- 4.1 Parameter SRM**

<b>Parameter</b>	<b>Value</b>	<b>Unit</b>
Jumlah fasa	3	-
Jumlah Kutub stator	12	-
Jumlah kutub rotor	8	-
Daya nominal	1200	Watt
Tegangan nominal	48	Volt DC
Arus Nominal	27	Ampere
Kecepatan Nominal	5600	RPM
Torka Nominal	2.0	N.m

#### **4.3 Pengaruh Kecepatan terhadap Pengereman Regeneratif**

Sebelum melakukan percobaan dengan menggunakan metode *magnetizing-freewheeling* akan dilakukan percobaan menggunakan metode konvensional single-pulse. Percobaan dilakukan dengan cara mengubah kecepatan putar awal motor untuk melihat pengaruh kecepatan awal putar SRM terhadap pengereman regeneratif. Kecepatan putar awal SRM yang digunakan adalah 1800 RPM, 1500 RPM, dan 1200 RPM. Ketiga parameter ini dipilih untuk menunjukkan bagaimana pengaruh pengereman regeneratif ketika kecepatan putar awal SRM semakin rendah. Percobaan dengan menggunakan ketiga parameter ini ditunjukkan pada Gambar-4.2.



**Gambar- 4.2 Hasil percobaan Arus Fasa metode single pulse pada kecepatan (a) 1800 RPM (b) 1500 RPM (c) 1200 RPM**

Gambar-4.2 menunjukkan arus fasa pada kecepatan 1800 RPM, 1500 RPM, dan 1200 RPM. Pada percobaan ini didapatkan hasil bentuk arus fasa yang berubah. Pada kecepatan 1800 RPM memiliki karakteristik bentuk arus fasa yang akan meningkat setelah proses eksitasi. Pada kecepatan ini arus fasa memiliki bentuk arus puncak yang lancip. Pada kecepatan 1500 RPM bentuk kenaikan arus fasa setelah proses eksitasi menjadi lebih rendah dan cenderung lebih datar dibandingkan dengan kecepatan 1800 RPM. Arus fasa puncak yang dihasilkan pada kecepatan 1500 RPM memiliki bentuk kenaikan yang landai. Pada kecepatan ini arus pada proses eksitasi memiliki bentuk yang lebih lebar dibandingkan pada kecepatan 1800 RPM. Hal ini menyebabkan luas area arus fasa pada proses eksitasi lebih lebar dibandingkan dengan luas area arus fasa pada proses generating. Kemudian pada kecepatan 1200 RPM memiliki bentuk arus puncak yang lebar dan bentuk arus fasa setelah proses eksitasi akan menurun. Pada

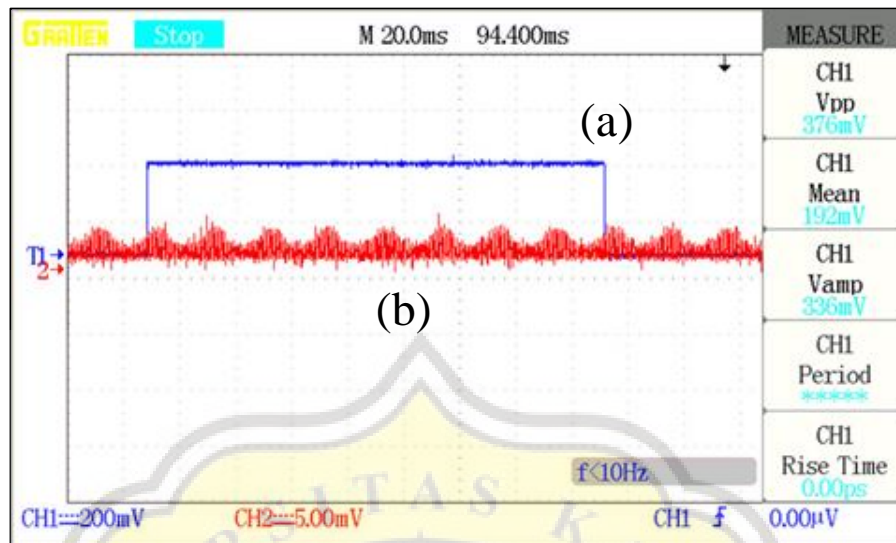


kecepatan 1200 RPM ini luas area arus fasa pada proses eksitasi nilainya lebih lebar dibandingkan dengan luas area arus fasa pada proses generating.

Berdasarkan Gambar-4.2 dapat diketahui hasil pengereman regeneratif pada variasi kecepatan awal pengereman regeneratif menggunakan metode konvensional *single-pulse*. Berdasarkan percobaan tersebut didapatkan hasil ketika kecepatan awal putar motor semakin rendah akan lebih banyak memakan energi dibandingkan dengan energi yang dihasilkan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar-4.2 poin (C) dimana luas area pada proses eksitasi menjadi sangat lebar dan luas area ketika proses generating menjadi sempit dan bentuknya menurun. Maka dari itu pengereman regeneratif pada SRM di kecepatan rendah dibutuhkan metode *magnetizing-freewheeling* untuk memperpanjang turunya arus fasa ketika proses generating melalui dioda agar torka negative meningkat.

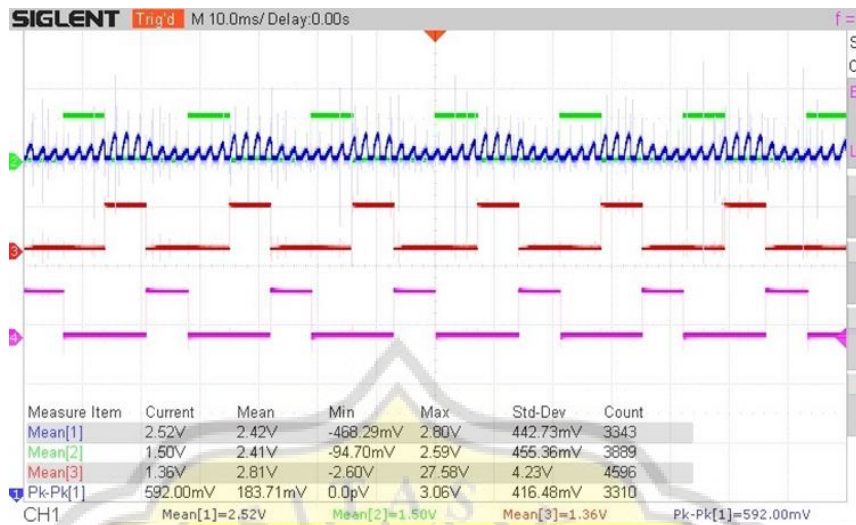
#### **4.4 Deteksi Posisi Rotor dan sudut**

Langkah awal yang dilakukan dalam percobaan ini adalah proses deteksi posisi rotor penentuan sudut eksitasi. Proses deteksi posisi rotor dibutuhkan untuk menentukan sudut dimana arus eksitasi akan diberikan. Sehingga proses deteksi rotor dan penentuan posisi sudut harus sesuai agar pengereman regeneratif dapat berjalan dengan optimal. Proses deteksi rotor dan sudut dilakukan dengan cara sinkronisasi antara hasil injeksi pulsa dengan nilai pulsa dari *rotary encoder*. Hasil dari injeksi pulsa merupakan impuls arus seperti ditunjukkan pada Gambar-4.3.



**Gambar- 4.3 Hasil percobaan gelombang (a) impuls arus (b) invers pin Z**

Hasil dari impuls arus akan dilakukan sinkronisasi dengan pulsa dari *rotary encoder*. Sinkronisasi pulsa *rotary encoder* dengan posisi rotor tersebut dilakukan dengan cara metode *input capture*. Metode tersebut dilakukan agar mikrokontroler dapat melakukan interupsi pada setiap satu putaran rotor, dimana nilai sudut penyalaan untuk setiap rotornya didapatkan dari perhitungan jumlah pulsa pin *A rotary encoder*. Hubungan antara impuls arus dengan sinyal pensaklaran ditunjukkan pada Gambar-4.4.

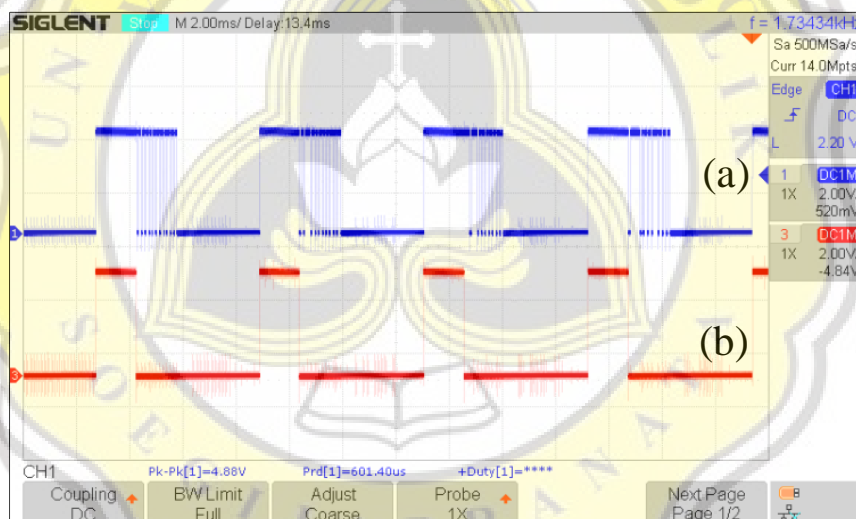


**Gambar-4.4** Hasil percobaan gelombang impuls arus dengan sinyal pensaklaran

Untuk membuktikan pengereman regeneratif dengan metode *magnetizing-freewheeling* dapat bekerja, maka dilakukan percobaan dengan parameter kecepatan rendah yaitu dengan kecepatan awal motor 1800 RPM. Setelah SRM mencapai kecepatan tersebut, akan di lakukan pengereman regneratif dengan dengan 3 parameter variasi *duty cycle* yang berbeda. Hal ini bertujuan untuk mencari kondisi pengereman regeneratif optimal ketika metode *magnetizing-freewheeling* digunakan.

Nilai optimal pengereman regenerative dengan metode ini ditunjukan melalui nilai arus balik (*charging*). menuju baterai. Semakin besar nilai arus charging dan perlambatan RPM pada SRM maka semakin besar nilai energy yang dikembalikan kepada baterai. Pengujian dilakukan dengan tiga parameter *duty cycle* yaitu 25%, 50%, dan 75%. Ketiga parameter tersebut dipilih karena tiga parameter tersebut telah menunjukkan hasil dari parameter *duty cycle* lainya.

Metode *magnetizing-freewheeling* adalah metode dimana setelah terjadi proses eksitasi maka arus pada belitan akan freewheeling melalui diode. Metode ini dilakukan dengan cara mengubah sinyal pensaklaran konverter *asymmetric*. Terdapat dua buah sinyal pensaklaran, yaitu saklar atas dan saklar bawah. Saklar atas dan saklar bawah memiliki bentuk pensaklaran yang berbeda, dimana saklar atas hanya melakukan eksitasi saja lalu kemudian mati. Sedangkan saklar bawah setelah proses eksitasi akan *chopping* berdasarkan duty cycle yang diberikan. Bentuk sinyal pensaklaran untuk satu fasa pada metode *magnetizing-freewheeling* ditunjukkan pada Gambar-4.5.



**Gambar- 4.5 Sinyal pensaklaran (a) saklar bawah (b) saklar atas**

Percobaan dilakukan dengan melakukan pengereman regeneratif pada alat prototip seperti ditunjukkan pada Gambar-4.1. Percobaan dilakukan dengan kecepatan awal 1800 RPM, dimana kecepatan awal tersebut merupakan kecepatan rendah pada SRM yang digunakan. Percobaan akan dilakukan dengan mengubah tiga parameter *duty cycle* yaitu 75%, 50%, dan 25%. Ketiga parameter ini dipilih



sebab telah menggambarkan parameter *duty cycle* yang lainya. Berdasarkan percobaan dari ketiga parameter tersebut didapati hasil seperti ditunjukkan pada Tabel-4.2.

**Tabel- 4.2 Nilai pengereman dan total energi dikembalikan**

DC Motor Current	Duty Cycle	RPM	Charging Current
0,89 A	75%	1642	-0,536
0,81 A	50%	1670	-0,201
0,653	25%	1696	0,494

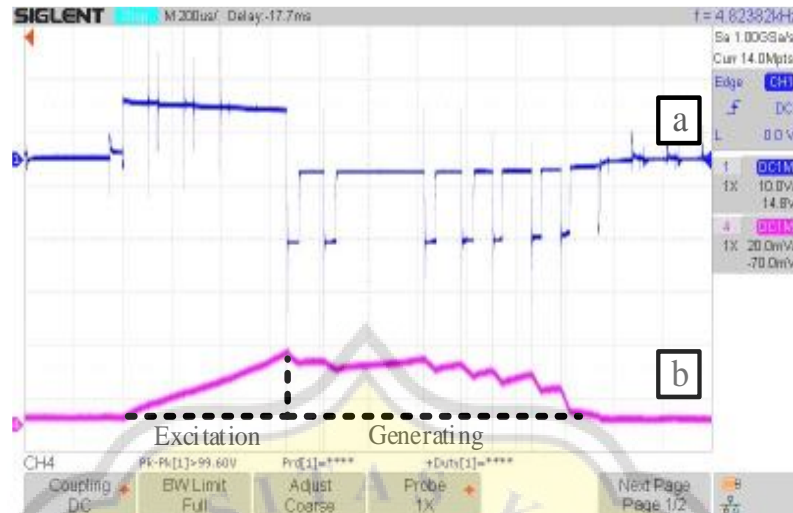
#### 4.5 Hasil Percobaan pada *Duty Cycle* 75%

Percobaan dilakukan dengan mengubah nilai *duty cycle freewheeling* menjadi 75%. Pada percobaan ini dihasilkan pengereman dengan kecepatan akhir 1642 RPM dengan nilai arus charging baterai rata-rata adalah -0,536 A. Pada Gambar-4.5 poin (d) ditunjukkan area dari arus pengisian baterai ketika dilakukan pengereman dengan *duty cycle* 75 %. Pada kondisi ini area diatas sumbu nol adalah area dimana arus baterai *discharging*. Sedangkan area arus baterai dibawah sumbu nol merupakan area *charging*. Semakin banyak area arus dibawah sumbu nol menyatakan semakin banyak arus pengisian menuju baterai. Pada *duty cycle* 75% area dibawah sumbu nol lebih besar dibandingkan dengan area diatas sumbu nol, sehingga dapat dikatakan pada kondisi ini terjadi pengereman regeneratif. Gambar-4.6 menunjukan arus fasa SRM dan arus pengisian baterai pada *duty cycle* 75%.



**Gambar- 4.6 Hasil percobaan (a) arus fasa A (b) arus fasa B (c) arus fasa C (d) arus pengisian baterai pada *duty cycle* 75%**

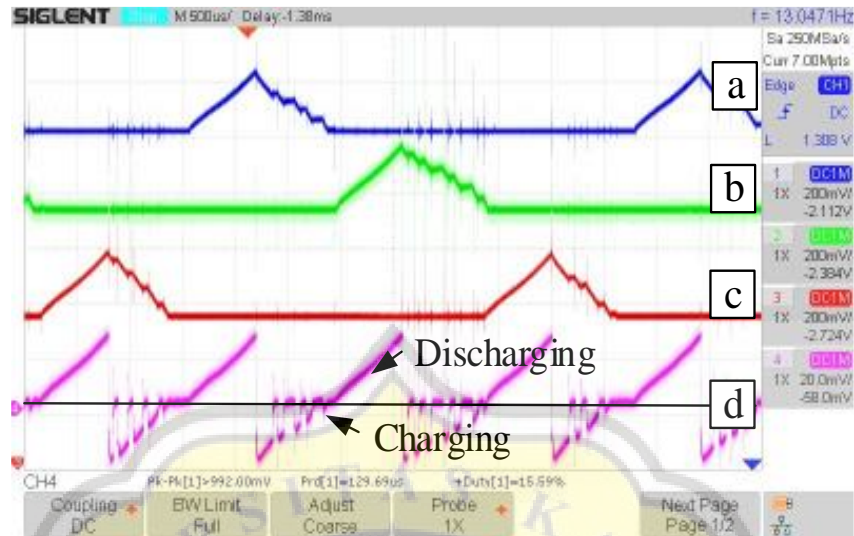
Gambar-4.7 adalah gambar arus fasa dan tegangan fasa SRM ketika dilakukan pengereeman regeneratif dengan *duty cycle* 75%. Ditunjukkan bahwa ketika proses eksitasi tegangan fasa akan bernilai positif, artinya SRM mengambil daya dari baterai. Namun ketika generating, Tegangan fasa akan bernilai negatif sesuai dengan *duty cycle* yang diberikan ketika mode *freewheeling*. Pada *duty cycle* 75 % arus pasa belitan fasa setelah proses eksitasi akan turun secara lambat seperti ditunjukkan pada Gambar-4.6. Hal ini disebabkan oleh karena torka negatif yang dihasilkan menjadi lebih besar dibandingkan dengan metode konvensional. Pada kondisi perobaan ini tetap dihasilkan arus pengisian baterai.



Gambar-4.7 Hasil percobaan (a) Tegangan fasa (b) arus fasa pada duty cycle 75%

#### 4.6 Hasil Percobaan pada *Duty Cycle* 50%

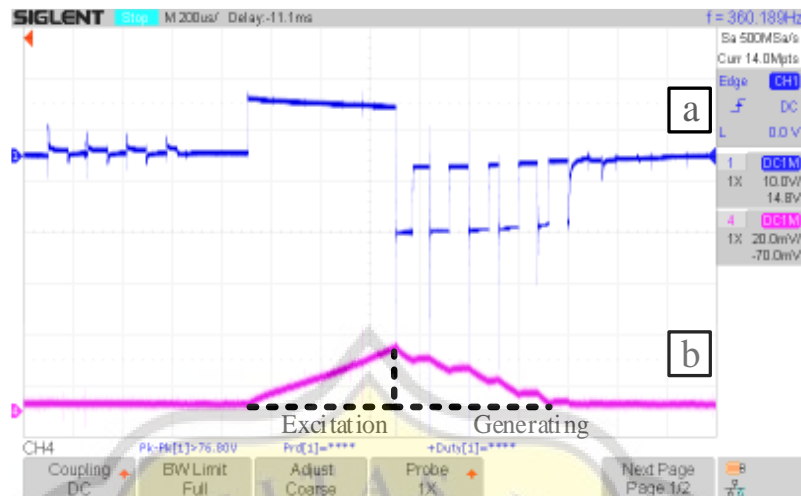
Percobaan kedua dilakukan dengan mengubah nilai *duty cycle* menjadi 50%. Pada percobaan ini dihasilkan pengereman akhir sebesar 1670 RPM dengan nilai asur pengisian baterai sebesar -0,201 A. Pada *duty cycle* 50% area pengisian baterai dibawah sumbu nol menjadi lebih sedikit dibandingkan dengan area pada percobaan pertama. Hal ini menunjukkan bahwa pada *duty cycle* 50% akan menyebabkan nilai dari arus pengisian baterai berkurang. Pada percobaan ini tetap terdapat arus pengisian menuju baterai meskipun jumlahnya berkurang dari percobaan pertama. Hasil gambar percobaan pada *duty cycle* 50% ditunjukkan pada Gambar-4.8.



**Gambar- 4.8 Hasil percobaan (a) Arus fasa A (b) arus fasa B (c) arus fasa C (d) arus pengisian baterai pada duty cycle 50%**

Gambar-4.9 menunjukkan arus dan tegangan fasa ketika sedang dilakukan pengereman regeneratif pada *duty cycle* 50% dengan nilai lebar eksitasi yang tetap. Arus fasa setelah proses eksitasi akan berkurang lebih cepat dibandingkan dengan percobaan pertama. Hal ini disebabkan karena pada *duty cycle* 50% torka negatif yang dihasilkan berkurang dibandingkan dengan percobaan pada *duty cycle* 75%. Pada percobaan kedua ini tetap dihasilkan arus pengisian baterai meskipun nilainya lebih kecil dibandingkan dengan percobaan pertama.





**Gambar- 4.9 Hasil percobaan (a) Tegangan fasa (b) arus fasa pada duty cycle 50%**

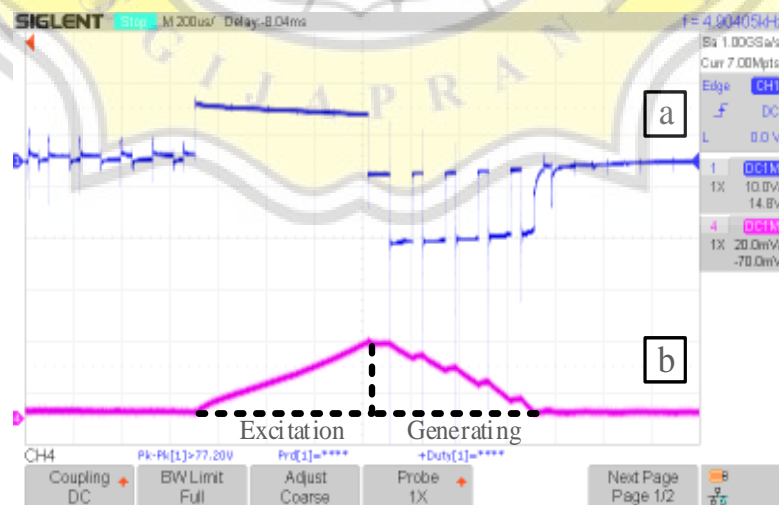
#### **4.7 Hasil Percobaan pada *Duty Cycle* 25%**

Percobaan ketiga dilakukan dengan mengurangi nilai *duty cycle* menjadi 25%. Pada percobaan ketiga ini didapati hasil kecepatan akhir SRM menjadi 1696 RPM. Kemudian nilai arus pengisian baterainya menjadi 0,494 A. Pada percobaan ini nilai arus rata-rata arus pengisian baterai tidak lagi negatif, artinya pada *duty cycle* 25% area arus pengisian dibawah sumbu nol lebih banyak dibandingkan dengan area diatas sumbu nol. Pada *duty cycle* 25% tidak lagi efektif digunakan untuk pengereman regeneratif, sebab nilai eksitasinya lebih besar dibandingkan dengan nilai generatungnya. Pada kondisi ini nilai torka negatif menjadi sangat kecil, sehingga daya balik menuiu baterai menjadi lebih sedikit dibandingkan dengan daya yang dikeluarkan oleh baterai. Gambar-4.10 menunjukkan bentuk gelombang luasan area arus pengisian baterai dan bentuk arus fasa.



**Gambar- 4.10 (a) Arus fasa A (b) arus fasa B (c) arus fasa C (d) arus pengisian baterai pada duty cycle 25%**

Gambar-4.11 menunjukkan arus fasa dan tegangan fasa pada saat terjadi pengereman regeneratif dengan *duty cycle* 25%. Pada kondisi ini arus fasa setelah proses eksitasi akan turun sangat cepat dibandingkan pada kedua percobaan sebelumnya. Hal ini mengindikasikan bahwa torka negatif tidak lagi optimal pada *duty cycle* 25%.



**Gambar- 4.11 (a) Tegangan fasa (b) arus fasa pada duty cycle 50%**

#### 4.8 Pembahasan

Berdasarkan percobaan tentang pengaruh kecepatan terhadap pengereman regeneratif seperti yang telah ditunjukkan pada Gambar-4.2. Dapat disimpulkan bahwa kecepatan akan mempengaruhi performa dari pengereman regeneratif yang dihasilkan. Semakin rendah kecepatan maka akan semakin merugikan bagi pengereman regeneratif. Sehingga pada kecepatan rendah dapat digunakan metode *magnetizing-freewheeling*.

Percobaan diatas telah menyajikan hasil data dari pengereman regeneratif menggunakan metode *magnetizing-freewheeling* dengan tiga parameter yang berbeda. Metode *magnetizing-freewheeling* memanfaatkan mode pensaklaran pada konverter asymmetric untuk meningkatkan torka negative dengan cara memperlambat keluarnya arus pada belitan fasa.

Hasil percobaan pada tiga buah arus fasa pada duty cycle 75%, 50% dan 25% mendapatkan hasil yang berbeda pada setiap nilai *duty cycle*. Pada nilai *duty cycle* 75% seperti ditunjukkan pada Gambar-4.7 (b) nilai arus fasa pada area generating akan habis lebih lama dibandingkan dengan parameter duty cycle yang lainnya. Pada duty cycle 75% nilai energi yang dihasilkan pada area generating lebih lebar dibandingkan dengan energi yang dikeluarkan pada area eksitasinya. Sehingga pada *duty cycle* 75% arus *charging* yang dihasilkan merupakan yang paling besar diantara tiga parameter duty cycle lainnya. Hal ini terbukti dari data pada Tabel-4.2 dan Gambar-4.6 (d) yang menunjukkan nilai dan bentuk gelombang arus pengisian batere.

Pada *duty cycle* 50% nilai arus fasa pada area generating memiliki area yang lebih pendek dibandingkan dengan percobaan pada *duty cycle* 75%. Sehingga pada percobaan dengan nilai *duty cycle* 50% energi yang dihasilkan menjadi lebih sedikit dibandingkan dengan percobaan sebelumnya. Hal ini ditunjukkan pada hasil percobaan yang ditunjukkan pada Tabel-4.2 dan Gambar-4.9.

Pada percobaan dengan nilai *duty cycle* 25% telah menunjukkan bahwa arus fasa pada area generating menjadi lebih pendek dibandingkan dengan arus fasa yang dihasilkan pada saat proses eksitasi. Pada percobaan ini energi yang dihasilkan lebih sedikit dibandingkan dengan energi yang dikeluarkan. Sehingga pada *duty cycle* 25% dapat dikatakan tidak dapat lagi digunakan untuk pengisian baterai.

Tabel-4.2 menunjukkan hubungan antara pengaturan *duty cycle* dengan nilai arus pengisian baterai yang dihasilkan dari pengereman regeneratif dengan metode *magnetizing-freewheeling*. Percobaan yang dilakukan dengan cara menghubungkan SRM dengan motor DC untuk mendapatkan hasil simulasi menyerupai pengereman pada kendaraan listrik. Pada Tabel-4.2 menunjukkan semakin besar *duty cycle* pada mode magnetizing freewheeling maka semakin besar juga arus eksitasi pada motor DC. Hal ini menunjukkan pada *duty cycle* 75% nilai pengereman pada SRM semakin tinggi sebab beban yang diberikan lebih besar. Hasil tersebut di dukung dengan data kecepatan akhir pengereman dan arus pengisian pada baterai.

Percobaan diatas telah menunjukkan pengaruh dari nilai *duty cycle* terhadap arus pengisian baterai. Pada *duty cycle* 75% dan 50% terdapat arus pengisian



baterai. Sedangkan pada duty cycle 25% tidak tidak didapati arus pengisian baterai. Proses *freewheeling* akan mengakibatkan arus pada belitan fasa menjadi lebih lama habis. Sehingga pada duty cycle 75% saklar on akan lebih besar dibandingkan dengan saklar off, sehingga proses *freewheeling* menjadi lebih lama akibatnya arus dari belitan fasa akan lebih lama melalui dioda. Proses tersebut akan menghasilkan torka negative lebih besar dibandingkan duty cycle 50% dan 25%. Maka arus pengisian baterai pada duty cycle 75% merupakan yang paling besar. Semakin besar nilai *duty cycle* yang diberikan maka arus fasa setelah proses eksitasi akan habis lebih lama. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar *duty cycle* torka negatif yang dihasilkan akan semakin baik.

