



**DESAIN PENEREMAN REGENERATIF MOTOR DC
BRUSHLESS PADA MOBIL LISTRIK**

SKRIPSI

Oleh

**Novie Lukman Hamsa
NIM 081910201008**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2013**



**DESAIN PENEREMAN REGENERATIF MOTOR DC
BRUSHLESS PADA MOBIL LISTRIK**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi syarat-syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Novie Lukman Hamsa
NIM 081910201008**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2013**

PERSEMBAHAN

1. Tuhan Yang Maha Esa Allah SWT syukur Alhamdulillah selalau terucap yang telah memberikan Rahmat, Hidayahnya, serta petunjuk sehingga dapat terselesaikannya skripsi ini.
2. Salam dan anugerah selalu tercurahkan junjungan nabi besar kita Nabi Muhammad SAW.
3. Ayahanda dan Ibunda tercinta, '**Priyo Sutrisno**' dan '**Siti Sumarmi**, yang telah memberikan segenap perhatian, rasa cinta, kasih sayang, doa dan restu.
4. Adikku tercinta, '**Syafiq Agil Varisandi**' yang selalu memberikan dukungan dengan tulus ikhlas.
5. Kucingku tersayang, '**Gobel**' yang sering membuatku tertawa saat mengalami kejenuhan dalam pengerjaan skripsi ini.
6. Sepeda motor kesayanganku '**Si Momo**' yang setia menemaniku kemanapun ku melangkah dan berkarya.
7. **Bapak Bambang Sujanarko** beserta keluarga terima kasih telah menjadi pendamping dan membimbing dengan segenap hati dalam mengerjakan skripsi ini sampai selesai, terima kasih atas pinjaman rumahnya untuk dibuat menjadi Laboratorium dan Markas Besar BB Cooperation.
8. Teman-temanku seperjuangan angkatan 2008, terima kasih kalian adalah inspirasi dan motivatorku dalam kuliah dan selalu kompak dalam kebersamaan, suka duka dibangku perkuliahan.
9. Almamaterku tercinta Universitas Jember.

MOTTO

Do all the goods you can, All the best you can, In all times you can, In all places you can, For all the creatures you can.

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain. Dan hanya kepada Tuhan-mulah hendaknya kamu berharap.”
(Terjemahan Q.S A Lam Nasyrh : 6-8)

Be positive thinking and keep smile

Tempat untuk berbahagia itu di sini. Waktu untuk berbahagia itu kini. Cara untuk berbahagia ialah dengan membuat orang lain berbahagia.
-Robert G. Ingersoll-

Keberhasilan kita tidak diukur dari seberapa besar dan tinggi daratan impian yang bisa kita capai diakhir perjalanan, tetapi keberhasilan kita terutama dinilai dari kualitas perjalanan kita. Maka, bila kita menjaga kualitas perjalanan harian kita, kapanpun perjalanan itu berakhir, perjalanan kita akan tetap baik.
-Mario Teguh-

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Novie Lukman Hamsa

NIM : 081910201008

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa proyek akhir yang berjudul: “Desain Pengereman Regeneratif Motor DC Brushless Pada Mobil Listrik” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 5 September 2013

Yang menyatakan,

Novie Lukman Hamsa
NIM. 081910201008

SKRIPSI

DESAIN PENEREMAN REGENERATIF MOTOR DC BRUSHLESS PADA MOBIL LISTRIK

Oleh

Novie Lukman Hamsa
NIM 081910201008

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.
Dosen Pembimbing Anggota : H.R.B. Moch. Gozali, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul: “ Desain Pengereman Regeneratif Motor DC Brushless Pada Mobil Listrik” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Selasa, 24 September 2013

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.
NIP 19631201 199402 1 002

H.R.B. Moch. Gozali, ST., M.T.
NIP 19690608 199903 1 002

Tim Penguji,

Penguji I

Penguji II

Dr. AzmiSaleh, S.T., M.T.
NIP 19710614 199702 1 001

AndiSetiawan, S.T., M.T.
NIP 19691010 199702 1 001

Mengesahkan
Dekan,

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP 19610414 198902 1 001

Desain Pengereman Regeneratif Motor DC Brushless Pada Mobil Listrik

Novie Lukman Hamsa

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Pada saat ini motor *Brushless* DC (BLDC) telah banyak digunakan sebagai penggerak mobil listrik. Selain mampu menghasilkan torsi yang besar, motor ini juga memiliki efisiensi yang tinggi. Meskipun sudah tinggi, namun peningkatan efisiensi energi listrik yang hanya berasal dari baterai masih perlu terus ditingkatkan. Salah satu upaya tersebut adalah dengan mengembalikan energi yang terbuang saat pengereman ke baterai. Sistem seperti ini dinamakan pengereman regeneratif. Pada penelitian ini dirancang suatu sistem pengereman regeneratif tersebut. Sistem dirancang berdasarkan tegangan keluaran dari motor BLDC yang berupa sinus 3 fasa. Oleh karena itu sistem terdiri dari penyearah 3 fasa untuk menyearahkan tegangan, konverter *boost* untuk meningkatkan tegangan, pengontrol yang disusun dengan Simulink Matlab dan sistem antar muka berupa *Peripheral Component Interconnect* (PCI). Sistem dirancang mempunyai 5 tingkat pengereman yang diatur berdasarkan *duty cycle* sistem kontrol *Pulse Width Modulation* (PWM) penyearah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pengereman yang memberikan pengisian optimal ke baterai terjadi pada tingkat pengereman ke 4 dan 5, dengan arus pengisian rata-rata sebesar 3,85 mA dan tegangan pengisian sebesar 13 V. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat pengereman semakin besar pula arus pengisian baterai.

Kata kunci : Mobil Listrik, Pengereman Regeneratif, *Brushless* DC

DC Motor Brushless Regenerative Breaking Design of Electric Vehicle

Novie Lukman Hamsa

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember

ABSTRACT

In this time, Brushless DC (BLDC) motor has been widely used as the driving electric car. Besides being able to produce a large torque, this motor also has a high efficiency. Although the efficiency already high, but an increase in the efficiency of electrical energy that comes only from the batteries still need to be improved. One such effort is to restore the energy wasted during braking to the battery. This system is called regenerative braking. In this research, a system of the regenerative braking was designed. The system designed based on the waveform of the BLDC motor output voltage, which in 3 phase sinus. Therefore, the system consists of a 3 -phase rectifier to rectify the voltage, the boost converter to increase the voltage, the controller that compiled with Simulink MATLAB and an interface systems Peripheral Component Interconnect (PCI). The system is designed in 5 levels of braking that perform from duty cycle of Pulse Width Modulation (PWM) rectifier. The results show that the braking system that optimal charging battery occur at the level of braking on 4 and 5, with an average charging current is 3.85 mA and the charging voltage is 13 V. The test results also showed that in the higher of the braking level, the battery charging current also higher.

Keywords: *Electric Car, Regenerative Breaking, Brushless DC Motor*

RINGKASAN

Desain Pengereman Regeneratif Motor DC Brushless Pada Mobil Listrik; Novie Lukman Hamsa, 081910201008; 2013; 46 halaman; Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Seiring berkembangnya teknologi, mobil listrik mulai banyak menggunakan motor *Brushless* DC sebagai penggerakannya. Selain mampu menghasilkan torsi yang besar, motor ini memiliki efisiensi yang cukup tinggi. Meskipun sudah tinggi, namun peningkatan efisiensi energi listrik yang hanya berasal dari baterai masih perlu terus ditingkatkan. Salah satu upaya tersebut adalah dengan mengembalikan energi yang terbuang saat pengereman ke baterai. Sistem seperti ini dinamakan pengereman regeneratif.

Sistem dirancang berdasarkan tegangan keluaran dari motor BLDC yang berupa sinus 3 fasa. Oleh karena itu sistem terdiri dari penyearah 3 fasa untuk menyearahkan tegangan dan ditambahkan konverter *boost* untuk meningkatkan tegangan. Pengaturan tingkat pengereman sepenuhnya diatur pada software matlab yang diinterfacekan langsung dengan hardware melalui *Peripheral Component Interconnect* (PCI). Sistem yang dirancang mempunyai 5 tingkat pengereman yang diatur berdasarkan *duty cycle* sistem kontrol *Pulse Width Modulation* (PWM) penyearah.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pengereman yang memberikan pengisian optimal ke baterai terjadi pada tingkat pengereman ke 4 dan 5, dengan arus pengisian rata-rata sebesar 3,85 mA dan tegangan pengisian sebesar 13 V. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat pengereman semakin besar pula arus pengisian baterai.

PRAKATA

Bismillahirrohmanirrohim

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga laporan tugas akhir yang berjudul **Desain Pengereman Regeneratif Motor DC Brushless Pada Mobil Listrik** dapat terselesaikan dengan baik. Laporan tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Terselesainya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu disampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Sumardi, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Bapak Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. selaku Pembimbing Utama dan H.R.B. Moch. Gozali, S.T., M.T. selaku Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesainya penulisan laporan tugas akhir ini;
4. Bapak Azmi Saleh, S.T., M.T., dan Bapak Andi Setiawan, S.T., M.T., selaku Tim Penguji Skripsi yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan pengarahan demi terselesainya penulisan skripsi ini;
5. Ayahanda Priyo Sutrisno, Ibunda Siti Sumarmi, dan adikku Syafiq Agil Varisandi, terima kasih atas doa, dukungan, ketulusan, kasih sayang, kesabaran, ketabahan dan doa restunya;
6. Teman-teman seperjuangan S1 Teknik Elektro 2008
7. Sahabat-sahabat Suwono Group (Andre, Antok, Bayu, Dimas, Fu'at, Gibran, Lukman, Rian, Reza, Yanggi, Yogi, dan Zaenal) atas semua bantuan, dukungan, dan do'a nya demi terselesainya laporan tugas ahir ini;

8. Kerabat-kerabat *BB Corporation* (Bayu, Bagas, Gardha, Mas Deni, Mas Pulung, Sendy, Yunus, Zipo, dan Haki) yang telah membantu meluangkan ide maupun tenaga serta selalu memberikan support dengan tulus ikhlas.

Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya untuk disiplin ilmu teknik elektro, kritik dan saran diharapkan terus mengalir untuk lebih menyempurnakan proyek akhir ini dan diharapkan dapat dikembangkan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Jember, Agustus 2013

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
RINGKASAN	ix
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR GRAFIK	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	2
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Mobil Listrik	3
2.1.1 Umum	3
2.1.2 Prinsip Kerja Mobil Listrik	3
2.2 Motor DC Brushless (Tanpa Sikat)	5
2.2.1 Prinsip Kerja Motor BLDC	5
2.2.2 Rangkaian Driver Tiga Fasa	7

2.3 Baterai <i>Lithium Ion</i>	7
2.4 Proses Pengereman Regeneratif.....	9
2.5 Penyearah 3Fasa Gelombang Penuh Tidak Terkendali.....	11
2.6 Konverter DC ke DC.....	12
2.7 Komponen Elektronika.....	14
2.7.1 MOSFET	14
2.7.2 Dioda.....	15
2.7.3 Kapasitor	16
2.7.4 Induktor	17
2.8 <i>PCI card 1710HG</i> dan Pemasangan <i>PCI Card</i> pada Komputer	19
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.2 Blog Diagram Sistem	21
3.3 Konfigurasi Sistem	22
3.3.1 <i>Breaking System</i> (Sistem Pengereman).....	22
3.3.2 <i>Rectifier</i> 3 Fasa.....	23
3.3.3 <i>Boost Konverter</i>	24
3.3.4 Konfigurasi Sistem Keseluruhan.....	26
3.4 Metode Kegiatan	28
3.4.1 Studi Literatur	29
3.4.2 Mendesain Alat	29
3.4.3 Simulasi Menggunakan Software	29
3.4.4 Membuat Alat.....	29
3.4.5 Pengujian Alat.....	29
3.4.6 Pengolahan Hasil & Data.....	30
3.4.7 Penyusunan Laporan	30
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Pengujian Perangkat Keras	31
4.1.1 Pengujian Motor BLDC	31

4.1.2 Pengujian Penyearah 3Fasa dan Tingkat Pengereman.....	34
4.1.3 Pengujian <i>Boost Konverter</i>	38
4.2 Pengujian Alat Keseluruhan.....	40
BAB 5 KESIMPULAN	46
5.1 Kesimpulan.....	46
5.2 Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Pengujian BLDC	32
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Tingkat Pengereman dan Penyearah 3 Fasa	35
Tabel 4.3 Pengujian Boost Konverter	39
Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Alat Keseluruhan	41
Tabel 4.5 Hasil Analisis Proses Charging Pada Satu Buah AKI	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Kerja Mobil Listrik	4
Gambar 2.2 Motor BLDC	5
Gambar 2.3 Medan Magnet Putar Stator dan Perputaran Rotor	6
Gambar 2.4 Skema Umum Driver Tiga Fasa.....	7
Gambar 2.5 Tegangan Stator BLDC	7
Gambar 2.6 Baterai Lithium Ion Pada Mobil Listrik.....	9
Gambar 2.7 Bagian Pengereman Regeneratif.....	10
Gambar 2.8 Rangkaian Ekuivalen Untuk a) Saklar On; b). Saklar Off.....	10
Gambar 2.9 Arus Jangkar. a). Arus Kontinyu; b). Arus Terputus	11
Gambar 2.10 Penyearah 3 Fasa Gelombang Penuh Tidak Terkendali.....	12
Gambar 2.11 Rangkaian Dasar Konverter DC-DC Tipe <i>Boost</i>	13
Gambar 2.12 <i>Boost Converter</i> Kondisi Saklar Tertutup	13
Gambar 2.13 Boost Konverter Kondisi Saklar Terbuka	14
Gambar 2.14 Simbol Dioda.....	15
Gambar 2.15 Struktur Kapasitor	17
Gambar 2.16 Jenis Induktor	18
Gambar 2.14 <i>PCI 1710HG dan PCLD 8710</i>	19
Gambar 3.1 Blok Diagram System	21
Gambar 3.2 Skema Sistem Pengereman Pada <i>PCI</i>	22
Gambar 3.3 Skema Rangkaian Penyearah 3 Fasa.....	23
Gambar 3.4 Skema Boost Konverter	25
Gambar 3.5 Sistem Pengendali Gate Secara Keseluruhan Pada Matlab.....	27
Gambar 3.6 Diagram Alir Tahap Penelitian	28
Gambar 4.1 Motor BLDC 500watt/3Fasa.....	31
Gambar 4.2 Gelombang V_{out} 9,2 Volt AC	32
Gambar 4.3 Gelombang V_{out} 20,8 Volt AC	32

Gambar 4.4 Gelombang Vout 32,7 Volt AC.....	33
Gambar 4.5 Penyearah 3 Fasa Modifikasi	34
Gambar 4.6 Desain Rangkaian Pensaklaran <i>Boost</i> Pada Matlab	38

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Perbandingan Tingkat Pengereman Dengan Kecepatan BLDC	37
Grafik 4.2 Perbandingan Tingkat Pengereman Dengan Vout BLDC	38
Grafik 4.3 Perbandingan Tingkat Pengereman Dengan Vout Boost Konverter ...	44