



**SISTEM ELEKTRIK PENEREMAN REGENERATIF MOBIL LISTRIK  
DENGAN PENGGERAK MOTOR INDUKSI 3 FASA DENGAN  
KONTROL LOGIKA FUZZY**

**SKRIPSI**

**Oleh**

**DENI FAZRI SAPUTRA  
NIM 091910201113**

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



**SISTEM ELEKTRIK Pengereman Regeneratif Mobil  
Listrik dengan Penggerak Motor Induksi 3 Fasa  
dengan Kontrol Logika Fuzzy**

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi skripsi dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro ( S1 )  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

**Oleh :**

**DENI FAZRI SAPUTRA  
NIM: 091910201113**

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



**SISTEM ELEKTRIK PENEREMAN REGENERATIF MOBIL LISTRIK  
DENGAN PENGGERAK MOTOR INDUKSI 3 FASA DENGAN KONTROL  
LOGIKA FUZZY**

**SKRIPSI**

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

Oleh

**Deni Fazri Saputra  
NIM 091910201113**

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

## *Persembahan*

*Tuhan Yang Maha Esa Allah S.W.T Syukur Alhamdulillah selalu terucap yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya serta petunjuk sehingga dapat terselesaikannya Skripsi ini.*

*Salam dan anugerah selalu tercurahkan kepada junjungan nabi besar kita Nabi Muhammad SAW.*

*special buat kedua orang tua Bapak dan ibu yang selalu memberikan dukungan dan doanya dengan tulus dan ikhlas serta yang telah membesarkan aku sampe seperti ini aku akan slalu menyayangimu I love you aLL mom and dAd thank you very much.*

*Buat sepedah buntutku Satria FU (Si Jupe) dengan No.pol " P 5418 PE" terima kasih kamu telah setia menemani aku kemana pun aku pergi dalam keadaan senang atau pun susah I love you.*

*Kakak – kakakku mbak Yuli, mas David dan Doni yang selalu memberikan dukungan kepadaku terima kasih atas dukungannya*

*Kepada saudara-saudaraku, jangan bersedih, sesungguhnya ada hikmahnya Sang Nabi yang dapat kau sulutkan dalam sanubarimu, dapat kau basuhkan pada lukamu*

*Temen-temen elektro Angkatan 2008 dan 2009, teman – teman BB Corporation dan pembimbing terbaikku bapak Bambang Sujanarko dan bambang Sri kaloko, bersama Anda semua sungguh merupakan kenangan terindah yang tak akan pernah terlupakan. terima kasih teman atas cinta, kasih sayang, persaudaraan yang begitu indah dan kalian adalah selalu yang terbaik bagiku;*

*Guru-guruku sejak TK sampai Perguruan Tinggi yang terhormat, terima kasih telah memberikan ilmu dan mendidik dengan penuh kesabaran;*

*Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.*

## MOTTO

*Al-Qur'an adalah petunjuk hidup yang paling sempurna, karena di dalamnya terdapat aturan-aturan yang membawa kita ke jalan yang benar.*

*"Do'a dan dukungan orang tua memberikan motivasi tersendiri buat kita untuk mencapai semua cita-cita kita*

*Keberhasilan datangnya dari dari kita sendiri selain dari Allah, maka raihlah keberhasilan itu dengan usaha keras dan do'a*

*Sabar, mengalah, mengerti, hati-hati dan ikhlas adalah lima kunci utama menuju hidup yang bahagia dan tenteram*

*Kemurnian dan kesucian cinta sejati akan terbawa sampai mati, meskipun cinta itu tidak akan pernah kita miliki*

*Diantara persahabatan dan cinta sangat erat hubungannya, maka berhati-hatilah jika kamu harus memilih*

*"Dua keinginan yang tidak pernah puas, keinginan menuntut ilmu dan keinginan menuntut harta"  
(Sabda Rasulullah)*

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Deni Fazri Saputra

NIM : 091910201113

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa proyek akhir yang berjudul: **Sistem Elektrik Pengereman Regeneratif Mobil Listrik dengan Penggerak Motor Induksi 3 Fasa dengan Kontrol Logika Fuzzy** 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, Agustus 2013

Yang menyatakan,

Deni Fazri Saputra  
NIM. 091910201113

# **SKRIPSI**

## **SISTEM ELEKTRIK PENEREMAN REGENERATIF MOBIL LISTRIK DENGAN PENGGERAK MOTOR INDUKSI 3 FASA DENGAN KONTROL LOGIKA FUZZY**

Oleh

Deni Fazri Saputra  
NIM 091910201113

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.  
Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Bambang Sri Kaloko, ST., MT.

## PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Sistem Elektrik Pengereman Regeneratif Mobil Listrik dengan Penggerak Motor Induksi 3 Fase dengan Kontrol Logika Fuzzy” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari : Kamis

Tanggal : 27 September 2013

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

### Tim Penguji

Pembimbing Utama ,

Pembimbing Anggota

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

Dr. Bambang Sri Kaloko, ST., MT.  
NIP. 19710402 2003 12 1001

Penguji I,

Penguji II,

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

Suprihadi Prasetyono, ST., MT.  
NIP. 19700404 199601 1 001

Mengesahkan  
Dekan,

Ir. Widyono Hadi, MT.  
NIP. 19610414 198902 1 001



# **Sistem Elektrik Pengereman Regeneratif Mobil Listrik dengan Penggerak Motor Induksi 3 Fasa dengan Kontrol Logika Fuzzy**

**Deni Fazri Saputra**

*Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember*

## **ABSTRAK**

Semakin meningkatnya jumlah kendaraan, mengakibatkan polusi udara juga meningkat. Oleh karena itu dibutuhkan kendaraan yang ramah lingkungan, salah satunya adalah mobil listrik. Mobil listrik mengandalkan motor sebagai penggerak dan baterai sebagai sumber energi. Motor induksi 3 Fasa merupakan jenis motor yang banyak digunakan. Untuk meningkatkan efisiensi energi, dibutuhkan sistem yang mampu mengembalikan energi yang biasanya terbuang pada saat pengereman untuk mengisi baterai, atau yang dinamakan pengereman regeneratif. Pada penelitian ini, suatu sistem pengereman mobil listrik yang menggunakan motor induksi akan dibuat, dengan tingkat pengereman regeneratif diatur menggunakan kontrol fuzzy. Implementasi sistem menggunakan real time workshop simulink matlab, dengan antar muka PCI 1710FG. Fuzzy akan mengatur lebar pulsa pensaklaran. Dalam system akan terdapat *Boost Konverter* yang akan menaikkan tegangan sesuai tingkat pengereman motor DC yang terkopel motor induksi 3 Fasa. Jika tegangan naik maka arus pada baterai naik. Pada saat tingkat pengereman sebesar 10%, arus yang masuk ke baterai sebesar 0,22 mA dengan waktu pengereman 4 detik, sedangkan pada tingkat pengereman 40%, arus yang masuk ke baterai sebesar 0,002 mA, dengan waktu pengereman 2 detik. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa semakin cepat putaran motor maka tegangan keluaran yang dihasilkan semakin besar, sehingga tegangan yang berhasil diproses oleh boost konverter semakin besar, sehingga untuk melakukan pengisian ulang baterai yang efisien adalah pada saat pengereman tingkat pertama atau dutycycle 10%.

*kata kunci : Pengereman Regeneratif, Boost Konverter, Motor Induksi 3 Fasa*

# **Electric System of Regenerative Braking in Electric Vehicle within 3 Phase Induction Motor Propulsion Based on Fuzzy Logic Control**

**Deni Fazri Saputra**

*Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember*

## **ABSTRACT**

The increasing the number of vehicles also increase the air pollutions. Therefore, it needs the vehicles that friendly to environment, one of them is electric vehicles. Electric vehicle, rely on motor as propulsion and limited batteries as energy sources. Three phase motor induction is typical motor used. To improve energy efficiency, it is need a system that can recharge battery from braking moment that called regenerative braking. In this research, a braking system of electric vehicle that use induction motor will build, with braking level controlled by fuzzy control. The implementation of the system use real time workshop simulink Matlab, which use PCI1710HG interfacing. Fuzzy will control of pulse width. In the system also use Boost converter that produce increasing the voltage according to braking level. If the voltages increase, the current to recharge battery also increase. At the braking level 10%, the current into the battery is 0,22 mA in the 4 seconds braking time, while the braking level on 40%, the current into the battery is 0,002 mA, and the braking time is 2 seconds. The results indicate that the faster speed of the motor, the voltage output is greater, so that the voltage boost converter successfully processed by the large. The best battery recharge happen at the first braking level or on duty cycle equal to 10%.

*kata kunci : Regenerative braking, Boost Converter, 3 Phase Induction Motor*

## RINGKASAN

### **Sistem Elektrik Pengereman Regeneratif Mobil Listrik dengan Penggerak Motor Induksi 3 Fase dengan Kontrol Logika Fuzzy.,**

Deni Fazri Saputra, 091910201113; 2013: 60 halaman; Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember

Mobil listrik mengandalkan energi terbatas yang disimpan pada baterai sebagai energi penggerak. Karena itu akan sangat bermanfaat bila energi yang biasanya terbuang pada pengereman dapat dikembalikan untuk mengisi baterai atau disebut pengereman regeneratif. Pada pengereman ini memperdayakan kontrol fuzzy serta saklar semi konduktor yang bisa dikendalikan untuk membuat tingkat pengereman yang bervariasi. Disamping itu, penempatan *Boost Konverter* pada pengereman ini dibutuhkan untuk menaikkan tegangan sehingga bisa digunakan untuk proses *charging* pada baterai.

Pengaturan tingkat pengereman sepenuhnya diatur pada software matlab yang diinterfacekan langsung dengan hardware melalui PCI. Desain blok Pengaturan tingkat pengereman pada matlab berupa PWM blok yang pada dasarnya mengatur lebar pulsa pensaklaran pada saklar terkendali.

Pengukuran KWh meter berbeda merek dan berbeda usia pakai mempengaruhi hasil pengukuran daya. Kesimpulan dari hasil penelitian yakni Desain prototype pengereman regeneratif dapat berjalan sesuai rencana awal dengan menggunakan kontrol modifikasi sendiri berupa tingkat pengereman yang bisa diatur sesuai perintah. Tingkat pengereman dapat divariasikan sebanyak 5 tingkat pengereman yang berbeda. Semakin rendah tingkat pengereman tegangan keluaran yang dihasilkan semakin besar, maka tegangan yang berhasil diproses oleh boost konverter semakin tinggi, sehingga untuk melakukan pengisian ulang baterai kita tidak perlu melakukan pengereman yang terlalu tinggi dan semakin tinggi tingkat pengereman tegangan keluaran yang dihasilkan semakin kecil dan tegangan yang berhasil diproses oleh boost konverter tinggi maka motor akan mengalami pengereman regeneratif yang tinggi.

## PRAKATA

### *Bismillahirrohmanirrohim*

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga laporan tugas akhir yang berjudul **Sistem Elektrik Pengereman Regeneratif Mobil Listrik dengan Penggerak Motor Induksi 3 Fase dengan Kontrol Logika Fuzzy** 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. Ir. Widyono Hadi, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Sumardi, ST., MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. selaku dosen pembimbing Utama
4. Dr. Bambang Sri Kaloko, ST., MT. selaku dosen pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesainya penulisan laporan tugas akhir ini;
5. Bapak H.R.B. Moch. Gozali, ST., MT., selaku Tim Penguji pertama skripsi
6. Bapak Suprihadi Prasetyono, ST., MT. selaku Tim Penguji kedua Skripsi yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan pengarahan demi terselesainya penulisan skripsi ini;
7. Ibunda Siti Fatimah, Ayahanda Ali Adi, terima kasih atas doa, dukungan, ketulusan, kasih sayang, kesabaran, ketabahan dan doa restunya;
8. Teman-teman seperjuangan di teknik elektro yang telah membantu meluangkan pikiran dan tenaga demi terselesainya laporan tugas akhir ini.

9. Teman-teman Benteng Barat Corp terima kasih atas bantuan dan dukungan demi terselesaikannya laporan tugas ahir ini.

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, Oktober 2013

**Penyusun**

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
PERSEMBAHAN.....	ii
MOTTO .....	iii
PERNYATAAN.....	iv
LEMBAR PEMBIMBING .....	v
PENGESAHAN .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
RINGKASAN .....	ix
PRAKATA.....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GRAFIK.....	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1 Motor Induksi 3 Fasa .....	6
2.1.1 Kontruksi Motor Induksi Tiga Fasa.....	6
2.1.2 Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Fasa.....	9
2.2 Torsi.....	11
2.2.1 Model Motor Induksi.....	12
2.3 Baterai.....	13

2.3.1 Baterai Basah.....	14
2.3.2 Baterai Asam Timbal.....	14
2.4 Logika Fuzzy .....	16
2.4.1 Sistem Fuzzy.....	17
2.4.2 Notasi Himpunan Fuzzy .....	19
2.4.3 Pengendali Logika Fuzzy .....	20
2.5 DC – DC Converter .....	25
2.5.1 Buck Converter.....	25
2.5.2 Boost Converter.....	26
2.6 Metode Pengereman Motor Induksi .....	26
2.6.1 Pengereman Motor Induksi .....	27
2.6.1.a Pengereman Mekanik .....	28
2.6.1.b Pengereman Elektris .....	28
2.6.1.b.1 Pengereman Regeneratif.....	28
2.6.1.b.2 Pengereman dengan pembalik fasa.....	30
2.6.1.b.3 Pengereman Dinamis.....	31
2.7 PCI card 1710HG .....	31
2.7.1 Pemasangan PCI card pada Personal Computer.....	31
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>33</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	33
3.2 Jadwal Penelitian .....	33
3.3 Diagram Blok .....	34
3.4 Konfigurasi Sistem .....	35
3.4.1 Breaking Sistem.....	35
3.4.2 Motor induksi 3 fasa .....	36
3.4.3 Boost Converter.....	37
3.5 Diagram Alir.....	40
3.5.1 Studi Literatur.....	41
3.5.2 Mendisain Alat .....	41

3.5.3 Simulasi Menggunakan Software .....	41
3.5.4 Membuat Alat .....	41
3.5.5 Pengujian Alat .....	42
3.5.6 Pengolahan Hasil dan Data .....	42
3.5.7 Penyusunan Laporan.....	42
3.5.8 Kesimpulan .....	43
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>44</b>
4.1 Pengujian Perangkat Keras .....	44
4.1.1 Pengujian Motor .....	44
4.1.2 Pengujian <i>Boost Konverter</i> .....	46
4.2 Pengujian Alat Keseluruhan .....	49
4.2.1 Rancangan dan Pengujian Fuzzy logic .....	58
4.2.2 Himpunan Fuzzy.....	59
4.2.3 Fungsi Keanggotaan .....	60
4.2.4 Rule Fuzzy .....	62
4.2.5 Proses <i>Charging</i> (Pengisian Ulang) ACCU .....	63
<b>BAB 5 KESIMPULAN.....</b>	<b>64</b>
5.1 Kesimpulan.....	64
5.2 Saran .....	64
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>65</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rotor Belitan ( <i>wound rotor</i> ).....	7
Gambar 2.2 Rotor Sangkar Tupai ( <i>Squirrel cage rotor</i> ).....	8
Gambar 2.3 Gambaran sederhana motor induksi dengan satu kumparan stator dan rotor .....	8
Gambar 2.4 Reaksi kimia pada elektroda tunggal .....	15
Gambar 2.5 Reaksi Kimia sel volta.....	16
Gambar 2.6 Fuzzy Sistem .....	18
Gambar 2.7 Fuzzy Kontroller .....	18
Gambar 2.8 Berbagai tipe fungsi keanggotaan .....	20
Gambar 2.9 Metode MAX – MIN .....	22
Gambar 2.10 Metode MAX – DOT .....	23
Gambar 2.11 Metode Max.....	23
Gambar 2.12 Metode centroid.....	24
Gambar 2.13 Metode Mean of Maximum.....	24
Gambar 2.14 Rangkaian Buck Converter .....	25
Gambar 2.15 Rangkaian boost converter .....	26
Gambar 2.16 Gambar Rangkaian Pengereman Regeneratif .....	29
Gambar 2.17 Rangkaian Ekvivalen Metode Pengereman Regeneratif.....	29
Gambar 2.18 Arus Jangkar Kontinyu dan Terputus.....	30
Gambar 2.19 <i>PCI 1710HG dan PCLD 8710</i> .....	32
Gambar 3.1 Diagram blok Pengereman regenerative Motor Induksi 3 fase. .....	34
Gambar 3.2 Skema Sistem Pengereman Pada <i>PCI</i> .....	35
Gambar 3.3 Skema Rangkaian driver Mosfet.....	36
Gambar 3.4 Motor induksi 3 fase dan Generator DC .....	37
Gambar 3.5 Skema boost konverter .....	37
Gambar 3.6 Rangkain Boost konverter.....	38

Gambar 4.1 Motor Induksi 3 Fasa.....	44
Gambar 4.2 Gelombang Vout diputar pelan .....	45
Gambar 4.3 Gelombang Vout diputar sedang.....	46
Gambar 4.4 Gelombang Vout diputar cepat .....	46
Gambar 4.5 Proses pengujian boost konverter.....	47
Gambar 4.6 Desain rangkaian pensaklaran pada matlab .....	47
Gambar 4.7 Proses pengujian alat keseluruhan .....	49
Gambar 4.8 Rangkaian keseluruhan boost konverter .....	50
Gambar 4.9 Rangkaian Simulasi Matlab dengan Menggunakan Fuzzy Logic.....	58
Gambar 4.10 FIS Editor untuk Metode Mamdani .....	59
Gambar 4.11 Fuzzifikasi Dutycycle.....	60
Gambar 4.12 Fuzzifikasi Vgenerator .....	60
Gambar 4.13 Fuzzifikasi Vboost converter .....	61

### **DAFTAR TABEL**

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Motor .....	45
Tabel 4.2 Pengujian boost konverter.....	48
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Alat Keseluruhan 75V;300Rpm.....	50
Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Alat Keseluruhan 100V;500Rpm.....	51
Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian Alat Keseluruhan 75V;300Rpm.....	52
Tabel 4.6 Data Hasil Pengujian Alat Keseluruhan 100V;500Rpm.....	53
Tabel 4.7 Hasil analisis proses charging pada satu buah ACCU .....	63

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Waktu tingkat pengereman 10% posisi AVR 100V .....	53
Grafik 4.2 Waktu tingkat pengereman 20% posisi AVR 100V .....	54
Grafik 4.3 Waktu tingkat pengereman 50% posisi AVR 100V .....	54
Grafik 4.4 Grafik perbandingan tingkat pengereman dengan kecepatan .....	56
Grafik 4.5 Grafik perbandingan tingkat pengereman dengan Vout boost .....	56