



**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI MOTOR BRUSHLESS DC  
UNTUK APLIKASI PADA MOBIL LISTRIK SINOSI UNIVERSITAS JEMBER**

**SKRIPSI**

Oleh

**Bayu Sovan P  
NIM 081910201040**

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



**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI MOTOR BRUSHLESS DC UNTUK  
APLIKASI PADA MOBIL LISTRIK SINOSI UNIVERSITAS JEMBER**

**SKRIPSI**

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

Oleh

**Bayu Sovan P  
NIM 081910201040**

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

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini merupakan langkah awal kesuksesan yang saya raih sebelum menuju kesuksesan selanjutnya dalam hidup saya. Tenaga dan pikiran telah saya korbankan selama hampir 5 tahun. Untuk itu saya ingin mempersembahkan karya ini kepada:

Kedua orang tua saya tercinta ibunda Dra. Binti F .Mpd, ayahanda Drs. Sutrisno Dan Kekasih saya Fitria Mahardika, karena berkat semangat dan juga dukungan dari mereka menjadi penyemangat saya dalam mengerjakan penelitian ini

Temen-temen elektro Angkatan 2008, temen – temen BB Cooperation Yunus B, Zippo P, Sendy N, Novie Lukaman Hamzah, Garda B, Singgih, Rekan-rekan teknik mesin dan pembimbing terbaikku bapak Bambang Sujanarko, bapak Triwahju Hardianto 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.

Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

## MOTTO

“Dan bahwasanya seorang manusia tiada memperoleh selain apa yang telah diusahakannya” (Qs An Najm :39)

“ Jangan sampai ayam jantan lebih pandai darimu. Ia berkokok di waktu subuh, sedang kamu tetap lelap dalam tidur” (Lukman Hakim)

“Kebanggaan kita yang terbesar adalah bukan tidak pernah gagal, tetapi bangkit kembali setiap kali kita jatuh” (Confusius)

“Kantong kosong tak pernah menghambat kemajuan Anda. Yang bisa menghambat adalah kepala kosong dan hati kosong”

“Bacalah dengan (menyebut) nama Tuhanmu Yang menciptakan. Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah. Bacalah, dan Tuhanmulah yang Maha Mulia. Yang mengajar manusia (dengan) pena. Dia mengajarkan manusia apa yang tidak diketahuinya”  
(QS Al-'Alaq [96]: 1-5)

“Ilmu itu ada dua macam, ilmu di dalam dada, itulah yang bermanfaat, dan ilmu sekadar di ujung lidah, maka itu akan menjadi saksi yang memberatkan manusia”  
(Sabda Rasulullah)

“Dua keinginan yang tidak pernah puas, keinginan menuntut ilmu dan keinginan menuntut harta”  
(Sabda Rasulullah)

## **PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Bayu Sovan P

NIM : 081910201040

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa proyek akhir yang berjudul:

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI MOTOR BRUSHLESS DC  
UNTUK APLIKASI PADA MOBIL LISTRIK SINOSI UNIVERSITAS JEMBER**

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,

Bayu Sovan P  
NIM. 081910201040

## **SKRIPSI**

### **RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI MOTOR BRUSHLESS DC UNTUK APLIKASI PADA MOBIL LISTRIK SINOSI UNIVERSITAS JEMBER**

Oleh

Bayu Sovan P  
NIM 081910201040

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Triwahju Hardianto, ST., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.

## PENGESAHAN

Skripsi berjudul **RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI MOTOR BRUSHLESS DC UNTUK APLIKASI PADA MOBIL LISTRIK SINOSI UNIVERSITAS JEMBER** telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari/Tanggal :  
Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Mengetahui,

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Anggota

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.  
NIP. 19700826 199702 1 001

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

Tim Penguji

Penguji I,

Penguji II,

Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T.  
NIP. 19800610 200501 1 003

Andi Setiawan, S.T., M.T.  
NIP. 19691010 199702 1 001

Mengesahkan,  
Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Jember

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

RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI MOTOR BRUSHLESS DC  
UNTUK APLIKASI PADA MOBIL LISTRIK SINOSI  
UNIVERSITAS JEMBER

**Bayu Sovan P**

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

**ABSTRAK**

Semakin berkembangnya aplikasi mobil listrik yang menggunakan motor Brushless Direct Current (BLDC) maka semakin tinggi pula kebutuhan control motor BLDC. Pada penelitian ini dirancang dan dibuat prototype control motor BLDC yang berbasis rangkaian digital guna memenuhi kebutuhan control yang murah, handal, dan menggunakan komponen lokal. Hasil pengujian terhadap prototype kontrol menyimpulkan bahwa kontrol yang dibuat telah bekerja dengan benar dan telah diaplikasikan pada mobil listrik Sinosi Universitas Jember.

**Kata kunci :**

*Brushless Direct Current (BLDC)*



RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI MOTOR BRUSHLESS DC  
UNTUK APLIKASI PADA MOBIL LISTRIK SINOSI  
UNIVERSITAS JEMBER

**Bayu Sovan P**

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

***ABSTRACT***

*The development of electric car applications that use the Brushless Direct Current (BLDC) motors increase the needs of BLDC motor control. This study goals are designing and developing prototype of BLDC motor control based on digital control circuit to address the needs of cheap, reliable, local components-contained motor control. From the test application results of the prototype control, it can be concluded that the controls worked properly. The designed prototype of BLDC motor control based on digital control circuit has been applied in Sinosi, the electric car of Jember University.*

**Key words :**

*Brushless Direct Current (BLDC)*

## RINGKASAN

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI MOTOR BRUSHLESS DC UNTUK APLIKASI PADA MOBIL LISTRIK SINOSI UNIVERSITAS JEMBER;** Bayu Sovan P, 081910201040; 2013: 52 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Motor Brushless Direct Current (BLDC) merupakan jenis motor yang memiliki kinerja yang baik oleh karena itu motor ini banyak dipakai sebagai penggerak mobil listrik. Motor BLDC tergolong dalam jenis motor sinkron yang artinya hampir tidak ada slip pada putaran. Motor BLDC terdiri dari tiga buah kumparan yang tersusun menggunakan sambungan DELTA (Segitiga).

Diperlukan system penyalan yang tersusun dari rangkaian logika, rangkaian driver, dan rangkaian inverter tiga fasa guna menyuplai tegangan pada masing-masing kumparan secara bergantian. Rangkaian logika pada penelitian ini menggunakan system digital yang berupa perpaduan gerbang logika invers, and, dan or. Sistem control ini disusun berdasarkan data logika dari hall sensor yang kemudian disederhanakan menggunakan metode karnaugh map.

Untuk pengaturan kecepatan motor, suatu system modulasi diterapkan tiap-tiap pasang inverter dengan menggunakan rangkaian pembangkit sinyal segitiga, rangkaian penguat sinyal, rangkaian pembanding (komparator). Berdasarkan hasil penelitian sistem yang digunakan ternyata lebih mudah diterapkan karena ketersediaan komponen yang banyak dipasaran Indonesia dengan harga yang relative terjangkau, selain itu perbaikan jika terjadi kerusakan tanpa memerlukan kemampuan yang tinggi.

Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa control telah dapat diaplikasikan pada mobil listrik Sinosi Universitas Jember.

## PRAKATA

Segala puja dan puji syukur kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada seluruh makhluk-Nya dan hanya atas ijinNya Skripsi ini dapat terselesaikan sampai pelaksanaan pembuatan laporan dengan judul **“RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI MOTOR BRUSHLESS DC UNTUK APLIKASI PADA MOBIL LISTRIK SINOSI UNIVERSITAS JEMBER”**. Pelaksanaan Skripsi ini merupakan salah satu syarat kelulusan dari Universitas Negeri Jember, khususnya Fakultas Teknik Elektro dan rasa terima kasih diucapkan kepada seluruh pihak yang telah membantu pelaksanaan dan pembuatan laporan Skripsi meliputi :

1. Rektor Universitas Jember, Bapak Drs. Moh. Hasan., M.Sc.,Ph.D.
2. Dekan Fakultas Teknik, Universitas Jember, Ir. Widyono Hadi, MT.
3. Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember, Sumardi, ST.,MT.
4. Ketua Program Studi S1 Teknik Elektro Universitas Jember, Dr. Azmi Saleh, ST., MT.
5. Dosen Pembimbing Utama Dr. Triwahju Hardianto, ST., M.T
6. Dosen Pembimbing Anggota Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.
7. Seluruh Staf Jurusan dan Program Studi teknik elektro
8. Rekan-rekan seperjuangan Elektro 08 yang telah bekerja sama.

Penulis berupaya menyelesaikan laporan ini sebaik-baiknya, namun segala bentuk kekurangan yang ada senantiasa mengharapkan saran dan kritik dari pembaca. Semoga laporan ini memberikan manfaat, Amin.

Jember, Agustus 2013

Penulis

## 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.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Manfaat .....	2
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Mobil Listrik .....	3
2.2 Motor DC Brushless .....	4
2.3 Sensor hall effect .....	5
2.4 Gerbang logika rangkaian terpadu.....	9
2.5 Logika Pensaklaran Motor BLDC.....	10
2.6 Penyederhanaan dengan Peta Karnaugh.....	10

2.7 Sistem Drive Motor BLDC .....	11
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....	13
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	13
3.2 Desain Sistem.....	15
3.2.1 Blok diagram system .....	15
A. Sistem kontrol logic .....	16
B. Sensor hall effect .....	17
C. Driver motor brushless .....	18
D. Power supply pengisolasi .....	19
E. Buffer .....	21
F. Pengatur Kecepatan .....	22
BAB 4. HASIL DAN ANALISIS	
4.1 Pengujian Rangkaian <i>Power Supply</i> .....	24
4.2 Pengujian Rangkaian Digital.....	24
4.3 Pengujian Rangkaian <i>Pulse Width Modulation (PWM)</i> .....	28
4.4 Pengujian Rangkaian Driver .....	33
4.5 Hasil Pengukuran Pada Motor BLDC Tanpa Beban .....	37
4.6 Hasil Pengukuran Pada Motor BLDC Berbeban .....	49
BAB 5 SARAN DAN KESIMPULAN .....	52
5.1 Kesimpulan .....	52
5.2 Saran .....	52
DAFTAR PUSTAKA .....	53

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Mobil Listrik.....	3
Gambar 2.2 Diagram Hall Effect.....	6
Gambar 2.3 Pengukuran Tegangan Hall.....	7
Gambar 2.4 Pemetaan Fungsi Logika Dengan Peta Karnaugh.....	11
Gambar 2.5 Sistem <i>Drive</i> Motor BLDC.....	12
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	13
Gambar 3.2 Diagram Pengambilan Data (I), (V), (RPM).....	14
Gambar 3.3 Diagram Blok Kendali Kecepatan dan Arah Putar.....	15
Gambar 3.4 Skematik Sistem Kontrol.....	16
Gambar 3.5 Hall Effect Sensor.....	17
Gambar 3.6 Rangkaian Pull-Up untuk Hall Effect Sensor.....	17
Gambar 3.7 Rangkaian Driver Motor Brushless.....	18
Gambar 3.8 Blok Power Supply Pengisolasi.....	19
Gambar 3.9 Skematik inverter CD4047.....	20
Gambar 3.10 Travo dengan lima output tegangan AC.....	20
Gambar 3.11 Skematik penyearah dan regulator.....	21
Gambar 3.12 Skematik Buffer.....	22
Gambar 3.13 Skematik pengatur kecepatan.....	23
Gambar 4.1 Pengujian kebenaran logika Rangkaian Digital dengan SCOPE matlab pada putaran berlawanan arah jarum jam.....	26
Gambar 4.2 Pengujian kebenaran logika Rangkaian Digital dengan SCOPE matlab pada putaran searah jarum jam.....	27
Gambar 4.3 Keluaran Pembangkit Segitiga.....	28
Gambar 4.4 (A) Bentuk tegangan kaki non inverting komparator pada duty cycle kecil.....	30

Gambar 4.4 (B) Bentuk gelombang tegangan kaki inverting komparator pada duty cycle kecil .....	30
Gambar 4.4 (C) Bentuk gelombang keluaran komparator pada duty cycle kecil .....	31
Gambar 4.5 (A) Bentuk tegangan kaki non inverting komparator pada duty cycle besar.....	31
Gambar 4.5 (B) Bentuk gelombang tegangan kaki inverting komparator pada duty cycle besar.....	32
Gambar 4.5 (C) Bentuk gelombang keluaran komparator pada duty cycle besar .....	32
Gambar 4.6 (A) Bentuk Gelombang Trigger Q1 .....	34
Gambar 4.6 (B) Bentuk Gelombang Trigger Q2.....	34
Gambar 4.6 (C) Bentuk Gelombang Trigger Q3.....	35
Gambar 4.6 (D) Bentuk Gelombang Trigger Q4 .....	35
Gambar 4.6 (E) Bentuk Gelombang Trigger Q5.....	36
Gambar 4.6 (F) Bentuk Gelombang Trigger Q6.....	36
Gambar 4.7 Grafik hubungan tegangan (V) dengan kecepatan (RPM) pada frekuensi 7,73kHz .....	37
Gambar 4.8 Grafik hubungan tegangan (V) dengan kecepatan (RPM) pada frekuensi 10,09kHz .....	38
Gambar 4.9 Grafik hubungan tegangan (V) dengan kecepatan (RPM) pada Frekuensi 12,45kHz .....	39
Gambar 4.10 Grafik hubungan tegangan (V) dengan kecepatan (RPM) pada frekuensi 14,9kHz.....	40
Gambar 4.11 Grafik hubungan tegangan (V) dengan kecepatan (RPM) pada frekuensi 16,5kHz .....	41
Gambar 4.12 Grafik hubungan tegangan (V) dengan kecepatan (RPM) pada frekuensi 20,2kHz .....	42



Gambar 4.13 Grafik pengaruh tegangan terhadap torsi tanpa beban pada frekuensi 7,73kHz .....	43
Gambar 4.14 Grafik pengaruh tegangan terhadap torsi tanpa beban pada frekuensi 10,09kHz .....	44
Gambar 4.15 Grafik pengaruh tegangan terhadap torsi tanpa beban pada frekuensi 12,45kHz .....	45
Gambar 4.16 Grafik pengaruh tegangan terhadap torsi tanpa beban pada frekuensi 14,9kHz .....	46
Gambar 4.17 Grafik pengaruh tegangan terhadap torsi tanpa beban pada frekuensi 16,5kHz .....	47
Gambar 4.18 Grafik pengaruh tegangan terhadap torsi tanpa beban pada frekuensi 20,2kHz .....	48
Gambar 4.19 Grafik hubungan tegangan dengan efisiensi pada kondisi berbeban dengan tegangan 72 Volt .....	50
Gambar 4.20 Grafik hubungan P input, P output, dan kecepatan (RPM) pada kondisi berbeban.....	51

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kebenaran logika .....	9
Tabel 2.2 Hubungan hall sensor dengan switching .....	10
Tabel 4.1 Pengujian Rangkaian <i>power supply</i> .....	24
Tabel 4.2 Pengujian Rangkaian Digital .....	25
Tabel 4.3 Hubungan tegangan (V) dengan kecepatan (RPM) pada frekuensi 7,73kHz.....	37
Tabel 4.4 Hubungan tegangan (V) dengan kecepatan (RPM) pada frekuensi 10,09kHz.....	38
Tabel 4.5 Hubungan tegangan (V) dengan kecepatan (RPM) pada frekuensi 12,45kHz.....	39
Tabel 4.6 Hubungan tegangan (V) dengan kecepatan (RPM) pada frekuensi 14,9kHz .....	40
Tabel 4.7 Hubungan tegangan (V) dengan kecepatan (RPM) pada frekuensi 16,5kHz.....	41
Tabel 4.8 Hubungan tegangan (V) dengan kecepatan (RPM) pada frekuensi 20,2kHz.....	42
Tabel 4.9 Hubungan tegangan (V), arus (I), kecepatan (RPM) dengan Torsi (N/m) pada frekuensi 7,73kHz.....	43
Tabel 4.10 Hubungan tegangan (V), arus (I), kecepatan (RPM) dengan Torsi (N/m) pada frekuensi 10,09kHz .....	44
Tabel 4.11 Hubungan tegangan (V), arus (I), kecepatan (RPM) dengan Torsi (N/m) pada frekuensi 12,45kHz .....	45
Tabel 4.12 Hubungan tegangan (V), arus (I), kecepatan (RPM) dengan Torsi (N/m) pada frekuensi 14,9kHz .....	46

Tabel 4.13 Hubungan tegangan (V), arus (I), kecepatan (RPM) dengan Torsi (N/m) pada frekuensi 16,5kHz .....	47
Tabel 4.14 Hubungan tegangan (V), arus (I), kecepatan (RPM) dengan Torsi (N/m) pada frekuensi 20,2kHz .....	48
Tabel 4.15 Hasil pengukuran pada motor BLDC berbeban .....	49