

**PENGATURAN KECEPATAN MOTOR *BRUSHLESS DC*  
PADA MOBIL LISTRIK**

**TUGAS AKHIR**

*Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Sarjana Sains Terapan pada  
Program Studi Teknik Elektro Industri Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang*



**Oleh:**

**ADIL VITRA**

**NIM: 1306327/ 2013**

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK ELEKTRO INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
2018**

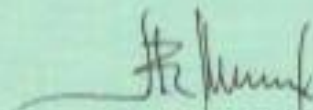
HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

"Pengaturan Kecepatan Motor *Brushless* DC pada Mobil Listrik"

Nama : Adil Vitra  
BP/NIM : 2013/1306327  
Program Studi : Teknik Elektro Industri  
Jurusan : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik

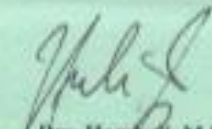
Padang, Juli 2018

Disetujui Oleh  
Pembimbing I



Dr. Ahyansuardi, M.T  
NIP. 19590105 198503 1 002

Mengetahui  
Ketua Jurusan teknik Elektro



Drs. Hambali, M. Kes  
NIP. 19620508 1987 03 1004

HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR

"Pengaturan Kecepatan Motor *Brushless* DC pada Mobil Listrik"

Nama : Adil Vitra  
BP/NIM : 2013/1306327  
Program Studi : Teknik Elektro Industri  
Jurusan : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik

Dinyatakan LULUS setelah dipertahankan di depan tim penguji tugas akhir  
Program Studi Teknik Elektro Industri Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas teknik Universitas Negeri Padang

Padang, Juli 2018

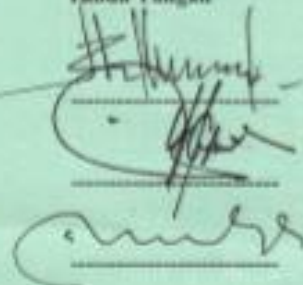
Tim Penguji :

Ketua : Dr. Ahyanuardi, M. T

Anggota : Asnil, S.Pd., M. Eng

Anggota : Dr. Muldi Yuhendri, S.Pd, M.T

Tanda Tangan





KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN DIKTI  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Jl. Prof. Dr. Hamka, Kampus UNP Air Tawar, Padang 25171  
Telp. (0751) 445998, Fax (0751) 7055644 e-mail: clo\_unp@yahoo.com



SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

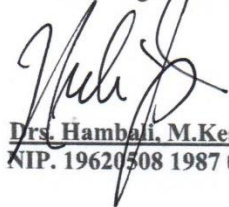
Nama : Adil Vitra  
NIM/TM : 1306327/2013  
Program Studi : Teknik Elektro Industri  
Jurusan : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir saya yang berjudul **“Pengaturan Kecepatan Motor *Brushless* DC pada Mobil Listrik”** adalah benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain. Apabila suatu saat terbukti saya melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku, baik di Institusi Universitas Negeri Padang maupun di masyarakat dan Negara.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Diketahui Oleh,

Ketua Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik  
Universitas Negeri Padang



Drs. Hambali, M.Kes  
NIP. 19620508 1987 03 1004

Saya yang menyatakan,



Adil Vitra  
NIM/BP. 1306327/2013

## ABSTRAK

**Adil Vitra. 2018.**”Pengaturan Kecepatan Motor *Brushless DC* pada Mobil Listrik” *Tugas Akhir*. Padang: Program Studi Teknik Elektro Industri, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Penelitian ini membahas tentang pengaturan kecepatan motor *Brushless DC* menggunakan inverter 3 fasa untuk mengendalikan kecepatan BLDC (*Brushless DC*) menggunakan Atmega 8 berdasarkan posisi *hall* sensor pada motor BLDC (*Brushless DC*) untuk menentukan timing komutasi dan switching mosfet pada inverter tiga fasa. Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat alat kontrol pada motor BLDC (*Brushless DC*), untuk mengendalikan kecepatannya kemudian dapat diterapkan pada mobil listrik sebagai penggerak.

Penelitian ini menggunakan mikrokontroler Atmega 8 yang berfungsi untuk pengolahan data dan sebagai sumber *switching* PWM. Motor yang digunakan yaitu motor DC jenis BLDC (*Brushless DC*) dengan daya 1000 *watt*, tegangan 48 *volt* serta arus  $\pm 20$  A. Metode yang digunakan untuk menggerakkan motor yaitu dengan metode *six step* yang didasarkan pada posisi *hall* sensor dan mengacu pada tabel kontrol motor BLDC (*Brushless DC*).

Berdasarkan hasil penelitian yang dilaksanakan dapat disimpulkan dengan menggunakan metode *six step* motor *Brushless DC* dapat berputar dengan baik dengan mengatur *duty cycle* antara 0-70% maka inverter dapat menghasilkan tegangan keluaran antara 0-20V dengan tegangan input sebesar 72 dan menghasilkan putaran motor *Brushless DC* antara 0-632 RPM.

Kata Kunci : Mobil Listrik, *BLDC*, *inverter 3 fasa*

## KATA PENGANTAR



*Alhamdulillah*, segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Pengaturan Kecepatan Motor Brushless DC Pada Mobil Listrik”. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro Industri Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang. Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua Orang Tua dan semua keluarga yang telah banyak berjasa baik moral ataupun materil dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Ahyanuardi, M.T selaku pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Drs. H. Hambali, M.Kes selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Padang.
4. Bapak Dr. Hendri, M.T selaku ketua program Studi Teknik Elektro Industri.
5. Bapak Asnil, S.Pd.,M.Eng selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Padang serta sebagai penguji pada Tugas Akhir.
6. Bapak Dr. Muldi Yuhendri, S.Pd, M.T selaku penguji pada Tugas Akhir.

7. Ibu Fivia Eliza, S.Pd, M.Pd. selaku Pembimbing Akademik.
8. Bapak dan Ibu Dosen serta seluruh staf Jurusan Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang yang telah membantu penulis selama menuntut ilmu.
9. Rekan – rekan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro UNP, khususnya Program Studi Teknik Elektro Industri angkatan 2013 dan semua pihak yang telah membantu penulis untuk mewujudkan Tugas Akhir ini dan menyelesaikan studi yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Semoga Tugas Akhir ini memberikan manfaat untuk penulis sendiri, bermanfaat untuk semua pihak, dan bernilai ibadah di sisi Allah SWT. Tugas Akhir ini tidak terlepas dari kesalahan dan kekeliruan, oleh sebab itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Padang, Mei 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>viii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	3
C. Batasan Masalah.....	4
D. Rumusan Masalah .....	4
E. Tujuan Penulisan .....	5
F. Manfaat Penulisan.....	5
<b>BAB II LANDASAN TEORI .....</b>	<b>6</b>
A. Mobil Listrik.....	6
1. Sejarah Mobil Listrik.....	6
2. Perkembangan Mobil Listrik.....	7
B. Motor DC .....	9
1. Umum.....	9
2. Motor <i>Brushless</i> DC (BLDC).....	11
3. <i>Hall Effect Sensor</i> .....	14
C. Inverter Tiga Fasa.....	15
D. <i>Gate Driver MOSFET</i> .....	18

E. <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM) .....	19
F. Mikrokontroler ATmega8.....	21
G. ADC ( <i>Analog Digital Converter</i> ).....	27
H. Diagram Alir (Flowchart) .....	28
<b>BAB III METODE PERANCANGAN.....</b>	<b>31</b>
A. Blok Diagram.....	31
B. Prinsip Kerja .....	34
C. Perancangan Alat.....	34
D. Perancangan Software .....	41
E. Pembuatan Alat .....	45
<b>BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA .....</b>	<b>48</b>
A. Prosedur Pengujian .....	49
B. Peralatan Pengujian.....	49
C. Pengujian dan Hasil Pengukuran.....	50
1. Pengujian Rangkaian Mikrokontroller ATmega 8 .....	50
2. Pengujian Rangkaian <i>Gate Drive</i> .....	51
3. Pengujian <i>Hall Sensor</i> .....	54
5. Pengujian <i>Signal Hall Sensor</i> dan Fasa Motor BLDC .....	55
6. Pengujian Output Pin Control Pada ATmega 8 .....	56
7. Pengujian Inverter 3 fasa dengan beban Motor BLDC Tanpa Beban ....	57
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>62</b>
A. Kesimpulan .....	62
B. Saran .....	62
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>63</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>65</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Motor DC Sederhana.....	10
Gambar 2. Penampang Motor BLDC .....	13
Gambar 3. Sensor Hall dan Encoder pada Motor BLDC.....	13
Gambar 4. Inverter Tiga Fasa.....	18
Gambar 5. Pulse Width Modulation .....	20
Gambar 6. Susunan Pin Microcontroller ATmega8 .....	22
Gambar 7. ADC dengan kecepatan sampling rendah dan kecepatan sampling tinggi. .....	27
Gambar 8. Blok diagram sistem pengendalian kecepatan motor BLDC .....	32
Gambar 9. Perancangan box alat (tampak utuh) .....	35
Gambar 10. Minimum System Mikrokontroler ATmega 8 .....	37
Gambar 11. Skematik Gate Drive Mosfet.....	38
Gambar 12. Rangkaian Inverter Tiga Fasa .....	40
Gambar 13. Flowchart Sistem.....	43
Gambar 14. Flowchart Program.....	44
Gambar 15. Kurva Vout Mikrokontroler & Vout Gate Drive .....	54
Gambar 16. Pengujian Hall Sensor .....	54
Gambar 17. Signal Hall Sensor dan Fasa Motor.....	55
Gambar 18. Keluaran Pin Output ATmega 8 untuk Switching Mosfet.....	56
Gambar 19. Kurva Pengujian Motor BLDC Tanpa Beban Line-to-Line.....	58
Gambar 20. Kurva Rpm .....	58
Gambar 21. Kurva % Error .....	59
Gambar 22. Kurva Pengujian Motor BLDC Tanpa Beban Line-to-Neutral .....	60
Gambar 23. Kurva % Error Line to Neutral.....	61

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Tabel <i>Switching</i> Motor BLDC Dengan Posisi <i>Hall</i> Sensor .....	15
Tabel 2. Pengujian Pin Logika Pada ATmega8 .....	50
Tabel 3. Pengujian <i>Gate Drive</i> .....	51
Tabel 4. Pengujian Motor BLDC Tanpa Beban <i>Line-to-Line</i> .....	57
Tabel 5. Pengujian Motor BLDC Tanpa Beban <i>Line-to-Neutral</i> .....	60

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Program .....	65
Lampiran 2. Rangkaian Keseluruhan .....	71
Lampiran 3. IRFP 240.....	72
Lampiran 4. HCPL3120.....	81
Lampiran 5. 74hc04 .....	96
Lampiran 6. ATmega 8.....	104

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Semakin berkembangnya teknologi otomotif, maka semakin banyak bahan bakar minyak yang diperlukan untuk kendaraan bermotor, oleh karena itu semakin banyak para pengembang dunia otomotif yang membuat kendaraan jenis mobil *hybrid* dan mobil listrik yang didasari juga dengan semakin terus bertambah mahalnya harga bahan bakar minyak. Menurut *International Standard* (ISO 8713:2002) mobil listrik dikenal dalam istilah *Electric Road Venicles* yang di Amerika dikembangkan menjadi dua (2) jenis, diantaranya *Zero Emission Vehicles* (ZEV) dan *Low Emmision Vehicles* (LEV). Mobil listrik yang dikategorikan menjadi *Zero Emission Vehicles* (ZEV) adalah mobil *battery* dan *fuel cell*, sedangkan yang dikategorikan menjadi *Low Emission Vehicles* (LEV) adalah mobil yang sistem penggerakannya memadukan antara *convensional engine* dengan motor listrik (mobil *Hybride*).

Pada tahun 2007, Mawan Hendrawan telah merancang “Sistem Pengaturan Kecepatan Mobil Listrik”. Pada tugas akhir ini menggunakan dua buah mikrokontroller tipe AT89S51 sebagai pengolahan data kecepatan dan AT89C2051 sebagai pengontrol level kecepatan. Motor yang digunakan sebagai actuator sistem ini adalah jenis motor *direct drive* dengan sistem kopel *velg* yang memiliki spesifikasi daya 350 Watt.

Berdasarkan yang telah dijelaskan di atas dapat disimpulkan, bahwa permasalahan yang terjadi pada pengaturan motor dengan menggunakan dua mikrokontroller yaitu konsumsi dayanya lebih besar. Jenis motor yang digunakan adalah motor *direct drive* dengan torsi yang tidak terlalu tinggi. Jadi, penulis akan membuat tugas akhir dengan judul **“Pengaturan Kecepatan Motor *Brushless Dc* Pada Mobil Listrik”**. Tugas akhir ini dirancang menggunakan satu mikrokontroller yang dapat melakukan pengolahan data kecepatan sebagai pengontrol level kecepatan sekaligus. Motor yang digunakan sebagai actuator sistem ini adalah jenis motor *Brushless DC* yang memiliki torsi yang sangat tinggi sehingga sangat cocok untuk digunakan penggerak pada mobil listrik.

Pada alat ini juga digunakan inverter 3 fasa untuk pengendalian motor BLDC dan juga digunakan motor 1 kW karena dengan motor tersebut mampu menggerakkan beban hingga berat 500 kg dan mobil yang dibuat diperkirakan memiliki beban hamper mencapai 300 kg (tanpa penumpang), pengaturan kecepatan motor BLDC pada mobil ini menggunakan gas mobil pada umumnya yang apabila semakin di tekan maka akan memutar motor semakin kencang.

Penggunaan *battery* sebagai energi penggerak pada mobil listrik menyebabkan sistem penggerak pada mobil listrik berbeda dengan mobil konvensional karena pada mobil listrik menggunakan motor sebagai penggeraknya sedangkan pada mobil konvensional menggunakan mesin. Motor BLDC (*Brushless DC*) merupakan motor sinkron. Hal ini berarti bahwa medan magnet

yang dihasilkan stator dan medan magnet yang dihasilkan rotor berputar pada frekuensi yang sama. Putaran pada rotor disebabkan oleh medan magnet pada stator yang pada setiap saatnya hanya aktif dua fasa (hanya fasa yang ter-*supply* pada setiap saat semestara satu fasa lainnya tak ter-*supply*).

Alat yang digunakan dalam komutasi elektrik sebagai pengganti sikat adalah inverter 3 fasa. Sedangkan metode pengendalian inverter motor BLDC yakni dengan menggunakan metode *Six-Step*. Gelombang yang dihasilkan dari metode ini berbentuk *square* atau *trapezoid*.

Dalam pengendalian motor BLDC, posisi rotor perlu diketahui untuk menentukan urutan eksitasi arus. Umumnya, posisi rotor diketahui dari tiga sensor hall yang masing-masing terpisah  $60^{\circ}$ . (Rendy Aditya Wijaya Putra, Eka Firmansyah, F Danang Wijaya, 2014:46).

Pengendalian kecepatan motor BLDC pada mobil listrik ini bertujuan untuk melakukan perubahan kecepatan pada mobil sehingga terjadi perubahan kecepatan pada mobil ketika sedang digunakan dengan menggunakan ATmega 8 sebagai *controller*.

## **B. Identifikasi Masalah**

Penggunaan driver atau inverter 3 fasa untuk mengendalikan kecepatan dan arah putaran BLDC (*Brushless DC*) dengan menggunakan ATmega 8 berdasarkan posisi *hall* sensor pada motor BLDC (*Brushless DC*) untuk menentukan timing komunitasi dan *switching* pada *driver* atau inverter 3 fasa.

### C. Batasan Masalah

Untuk membatasi pokok bahasan dalam pembuatan tugas akhir ini, maka yang menjadi pokok bahasan adalah:

1. Penggunaan Mikrokontroler ATmega 8 yang berfungsi untuk mengolah data yang didapat dari sensor dan sebagai sumber *switching* PWM untuk pengaturan Kecepatan Motor BLDC.
2. Motor yang digunakan adalah motor DC jenis BLDC (*Brushless* DC) dengan daya 1000 Watt dan tegangan 48V serta  $\pm 20$  A.
3. Komponen yang digunakan untuk driver atau inverter 3 fasa adalah MOSFET.
4. Metode yang digunakan untuk menggerakkan motor adalah dengan metode *Six Step* yang didasarkan pada posisi *hall* sensor yang terdapat pada motor dan mengacu pada tabel kontrol motor BLDC (*Brushless* DC).
5. Sumber tegangan motor didapatkan dari accumulator dengan tegangan 12V dan arus 100 A.

### D. Rumusan Masalah

Berikut rumusan masalah yang akan dihadapi dalam pengerjaan tugas akhir ini:

1. Mengatur kecepatan pada motor BLDC (*Brushless* DC).
2. Menentukan *switching* pada MOSFET untuk menggerakkan BLDC (*Brushless* DC).

3. Pembacaan *hall* sensor untuk menentukan posisi stator motor untuk proses komutasi BLDC (*Brushless DC*),
4. Pemanfaatan BLDC (*Brushless DC*) untuk sebagai penggerak pada mobil listrik.

#### **E. Tujuan Penulisan**

Tujuan pembuatan tugas akhir ini adalah untuk membuat alat kontrol pada motor BLDC (*Brushless DC*) untuk mengendalikan kecepatannya kemudian dapat diterapkan pada mobil listrik sebagai penggerak.

#### **F. Manfaat Penulisan**

Dapat membuat mobil listrik yang performanya hampir menyerupai mobil umum dan kedepannya dapat digunakan pada daerah yang tidak terdapat bahan bakar minyak pada daerah tersebut

## **BAB V PENUTUP**

### **A. Kesimpulan**

Sebelumnya telah dilakukan perancangan dan pembuatan alat serta pengujian alat pengaturan kecepatan untuk motor BLDC. Maka pada bab ini dapat di ambil kesimpulan dengan memperbesar nilai duty cycle maka akan menambahkan kecepatan motor dan memperbesar tegangan keluaran inverter dan memperbesar arus inverter.

### **B. Saran**

Setelah melakukan pengujian dan pembahasan alat ini, maka penulis menyarankan selain menggunakan hall sensor sebagai pendeteksi posisi rotor mungkin bisa digunakan juga menggunakan rangkaian back-emf motor karena dengan menggunakan hall sensor ketika kecepatan motor yang terlalu tinggi hall sensor sering tidak terbaca.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abe Dharmawan. 2009. Pengendalian motor brushless dc dengan metode PWM sinusoidal menggunakan ATMEGA 16. *Skripsi*: Universitas Indonesia.
- Anonimus. 2013. *Mulai pencurian teknologi sampai mengemudi*. <https://dahlaniskan.wordpress.com/2013/01/14/mulai-pencurian-teknologi-sampai-cara-mengemudi/>. (Diakses tanggal 25 april 2017).
- Aslimeri, dkk. 2008. Teknik Transmisi Tenaga Listrik. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- Datasheet Mikrokontroler ATmega8. <https://Alldatasheet.com>. (Diakses 20 Agustus 2017).
- Deny Faturrahman. 2016. *Perancangan dan Implementasi Sistem Pengereman Regeneratif Pada Mobil Listrik Dengan Penggerak BLDC*. Tugas Akhir: Universitas Telkom Bandung.
- Happyanto, Dedid & purnomo, mauridhi. 2013. Teknik Kendali Motor Induksi Tiga Fasa Berbasis Kecerdasan Komputasional Sebagai Penggerak Mobil Listrik. Surabaya: Graha Ilmu.
- Hariyanto, Didik. 2014. Teknik Antarmuka ADC. Universitas Negeri Yogyakarta: <http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/Teknik-Antarmuka-ADC.pdf>. (Diakses 20 Januari 2018).
- Hart, Daniel w. 2010. *Power Electronics*. McGraw-Hill: New York.
- Hughes, Austin. 2006. *Electric Motors and Drives (Third edition)*. Elsevier Ltd: New York.
- Kazimierczuk, Martian. 2008. *pulse-width modulated DC-DC Power Converter*. Markono Media pte ltd: Singapore.
- Madaan, Pushek. 2013. *Brushless DC Motors Part I: Contraction and Operating Principles*. <https://www.edn.com/design/sensors/4406682/Brushless-DC-Motors-Part-I--Contraction-and-Operating-Principles>. (Diakses tanggal 25 desember 2017).
- \_\_\_\_\_. 2013. *Brushless DC Motors Part II: Control Principles*. <https://www.edn.com/design/sensors/4407580/Brushless-DC-Motors-Part-II--Control-Principles>. (Diakses tanggal 25 desember 2017).