



**KONTROL MOTOR BLDC BERBASIS MIKROKONTROLER
DENGAN METODE *SIX STEP COMMUTATION***

SKRIPSI

Oleh

**Mochamad Miftachul Arif
NIM 101910201024**

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2014**



**KONTROL MOTOR BLDC BERBASIS MIKROKONTROLER
DENGAN METODE *SIX STEP COMMUTATION***

SKRIPSI

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

Oleh

Mochamad Miftachul Arif
NIM 101910201024

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2014**

PERSEMBAHAN

Dengan naungan rahmat Allah S.W.T. yang telah memberikan segala nikmat serta anugerah-Nya sehingga dapat kupersembahkan skripsi ini kepada :

1. Kedua orang tuaku, Much. Nurhaji dan Nur Fatimah yang selalu memberiku cinta dan kasih sayang yang begitu berarti hingga akhirnya saya dapat memperoleh gelar sarjana teknik (ST).
2. Kakakku Henny Kusumaningtyas, ku ucapkan terima kasih karena telah memberikan doa agar aku dapat menyelesaikan studi di Universitas Jember.
3. Bapak Bambang Sujanarko, terima kasih banyak atas bimbingan, ilmu, dan nasehatnya.
4. Seluruh asisten laboratorium Konversi Energi Listrik yang gokil dan lucu serta untuk Mas Sugi, terima kasih banyak atas ilmu dari pengalaman kerja yang telah dibagikan kepada saya.
5. Dyah Fitriana, untuk kasih sayang, do'a dan kebersamaan selama ini yang memberikan semangat kepada saya untuk terus maju dan tidak putus asa.
6. Arek2 kontrakan "ASOLOLE", kalian benar2 sohib terbaik dalam hidupku
7. Keluarga Besar Teknik Elektro Angkatan 2010, aku bangga menjadi angkatan 2010. Terimakasih atas dukungan dan motivasi yang kalian berikan
8. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember

MOTO

*“Barang siapa keluar untuk mencari ilmu
maka dia berada di jalan Allah”*

(HR. Turmudzi)

*Rencanakanlah yang anda akan lakukan, dan lakukanlah yang
telah anda rencanakan*

(Mario Teguh)

*“Saya sukses, karena saya telah kehabisan apa
yang disebut dengan kegagalan*

(Thomas Alfa Edison)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Mochamad Miftachul Arif

NIM : 101910201024

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis yang berjudul “Kontrol Motor BLDC Berbasis Mikrokontroler Dengan Metode *Six Step Commutation*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan 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 di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 20 Mei 2014

Yang menyatakan,

Mochamad Miftachul Arif

NIM. 101910201024

SKRIPSI

KONTROL MOTOR BLDC BERBASIS MIKROKONTROLER DENGAN METODE *SIX STEP COMMUTATION*

Oleh

Mochamad Miftachul Arif
NIM 101910201024

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Ir. Bambang Sujanarko M.M.

Dosen Pembimbing Anggota : Suprihadi Prasetyono, ST., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Kontrol Motor BLDC Berbasis Mikrokontroler Dengan Metode *Six Step Commutation*” telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal : Selasa, 20 Mei 2014

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

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

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.
NIP 19700404 199601 1 001

Penguji I

Penguji II

Dr. Azmi Saleh, S.T, M.T
NIP 19710614 199702 1 001

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

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik,

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

Kontrol Motor BLDC Berbasis Mikrokontroler Dengan
Metode *Six Step Commutation*

Mochamad Miftachul Arif

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Kemajuan teknologi pada sebagian besar peralatan tidak akan lepas dengan penggunaan motor. Terdapat berbagai jenis motor yang ada saat ini, salah satunya adalah motor Brushless Direct Current (BLDC) yang memiliki banyak kelebihan dibanding jenis motor lainnya. Pada penelitian ini akan dibuat kontrol motor BLDC berbasis mikrokontroler dengan metode *Six Step Commutation*. Sehingga nantinya didapat sinyal tegangan tiga fasa berbentuk trapezoid untuk memutar motor. Verifikasi sistem kendali menggunakan aki 12 V, mikrokontroler ATmega 16, ATmega 8, keypad untuk memasukkan kecepatan, dan motor BLDC 1 kW. Dari hasil pengujian, dapat diketahui saat nilai PWM maksimum yaitu 250, didapat kecepatan maksimum sebesar 215.5 rpm. Kontrol motor dalam penelitian ini lebih ke kontrol kecepatannya yang menggunakan kontrol PID. Dengan tuning metode osilasi *Ziegler-Nichols* didapatkan nilai $K_p = 0.72$, $K_i = 0.8$, dan $K_d = 0.162$. Dari hasil pengujian tanpa beban dan berbeban didapatkan kesimpulan bahwa penggunaan kontrol PID dapat mempercepat waktu respon dan robust (kokoh) dalam mempertahankan kecepatan.

Kata kunci : Motor BLDC 1 kW, Mikrokontroler, *Six Step Commutation*, Metode Osilasi *Ziegler-Nichols*, kontrol PID.

*BLDC Motor Control Based Microcontroller With
Six Step Commutation Methods*

Mochamad Miftachul Arif

*Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
Universitas Jember*

ABSTRACT

Advances in technology in most of the equipment will not be separated with the use of the motor . There are various types of motors available today , one of which is a motor Brushless Direct Current (BLDC) which has many advantages over other types of motors . In this research will be made BLDC motor control based microcontroller with Six Step Commutation methods. So later obtained three- phase voltage signal to rotate the motor trapezoidal shaped. Verification of control systems using a 12 V battery , microcontroller atmega 16 atmega 8 , the keypad to enter the speed , and 1 kW BLDC motor . From the test results , it can be seen when the maximum PWM value is 250 , obtained a maximum speed of 215.5 rpm. Motor control in this study was to control the speed using PID control . By tuning with osilation Ziegler-Nichols method obtained $K_p = 0.72$, $K_i = 0.8$ and $K_d = 0.162$. When given a resistive load , the PID control can achieve and maintain the speed setpoint.

Key words : *BLDC motor 1 kW, Mikrokontroler, Six Step Commutation, Ziegler-Nichols Oscillation Method, PID control.*

RINGKASAN

Kontrol Motor BLDC Berbasis Mikrokontroler Dengan Metode *Six Step Commutation*; Mochamad Miftachul Arif; 101910201024, 2014; 97 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Kemajuan teknologi pada sebagian besar peralatan tidak akan lepas dengan penggunaan motor. Terdapat berbagai jenis motor yang ada saat ini, salah satunya adalah motor Brushless Direct Current (BLDC) yang memiliki banyak kelebihan dibanding jenis motor lainnya.

Motor BLDC adalah 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 dua fasa yang tersupply pada setiap saat sementara satu fasa lainnya tak tersupply).

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*. Dan agar motor mampu bekerja dengan torsi dan kecepatan yang konstan, diperlukan *timing* perubahan komutasi yang tepat dalam pengendalian BLDC dengan metode *six-step*. Oleh karena itu, pada motor BLDC telah terpasang 3 buah sensor *hall* untuk menentukan *timing* perubahan komutasi pada pengendalian BLDC.

Pada penelitian ini dibuat sebuah kontrol motor BLDC berbasis mikrokontroler dengan tujuan mendapatkan kecepatan yang konstan meskipun diberi beban. Oleh karena itu, digunakan metode *closed loop* yaitu metode PID (*Proportional, Integrative and Derivative*). Beberapa alat dan rangkaian yang digunakan pada penelitian ini antara lain keypad, LCD, mikrokontroler ATmega 16, ATmega 8, rangkaian driver mosfet, inverter 3 fasa, motor BLDC 1 kW dan baterai 12 volt.

Prinsip kerja dari sensor kecepatan yang dirancang adalah menghitung banyaknya pulsa high dari salah satu sensor hall selama 1 detik, kemudian dihitung dengan rumus penghitung kecepatan sehingga akan didapatkan nilai kecepatan motor. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa sensor kecepatan yang dirancang memiliki error persen 0,709 % dibandingkan tachometer dan kecepatan maksimum motor adalah 215,5 rpm.

Dari hasil penalaan dengan metode osilasi *Ziegler-Nichols* didapatkan masing-masing parameter PID adalah nilai $K_p = 0,72$; nilai $K_i = 0.8$ dan nilai $K_d = 0.162$.

Pada pengujian kontrol PID baik saat tanpa beban dan berbeban didapatkan hasil yang cukup memuaskan dimana sistem dapat mempercepat waktu mencapai setpoint dan mampu *robust* (kokoh) dalam mempertahankan kecepatannya. Saat tanpa beban, dari tiga sampel kecepatan setpoint yang dipilih yaitu 45 rpm; 120 rpm dan 210 rpm didapatkan settling time masing-masing selama 7 sekon; 6 sekon dan 11 sekon. Overshoot hanya terjadi pada kecepatan 45 rpm yaitu sebesar 33 %.

Sedangkan pada saat diberi beban dibagi menjadi dua pengujian yakni pengujian berbeban langsung dan pengujian berbeban tidak langsung dimana keduanya dengan sampel kecepatan sebesar 120 rpm. Pengujian berbeban langsung adalah sistem sudah terpasang beban dari awal saat motor belum dijalankan dan dari hasil pengujian dengan beban resistif yang berbeda-beda yakni 188 Ω ; 141 Ω ; 94 Ω dan 47 Ω didapatkan settling time masing-masing selama 9 sekon; 10 sekon; 9 sekon dan 10 sekon. Selanjutnya, pengujian berbeban tidak langsung adalah motor berputar hingga mencapai setpoint dengan kondisi tanpa beban kemudian secara bergantian dipasang empat beban tersebut sehingga dapat diketahui waktu yang dibutuhkan sistem kembali ke setpoint (*recovery time*) dan dari hasil pengujian dengan beban resistif yang berbeda-beda yakni 188 Ω ; 141 Ω ; 94 Ω dan 47 Ω didapatkan waktu *recovery time* masing-masing selama 5,4 sekon; 6,5 sekon; 7,3 sekon dan 7,5 sekon.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah memberikan kemudahan, kesempatan dan kelancaran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Kontrol Kecepatan Motor BLDC Berbasis Mikrokontroler Dengan Metode *Six Step Commutation*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Program Studi Strata Satu (S1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu tersusunnya skripsi ini, khususnya kepada:

1. Bapak Ir. Widyono Hadi, MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Sumardi ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.
3. Bapak Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Suprihadi Prasetyono, ST., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatiannya guna memberikan pengarahan dan bimbingan demi terselesaikannya penulisan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Azmi Saleh, ST., MT. dan Bapak H.R.B. Moch. Gozali, S.T, M.T, selaku Tim Penguji Skripsi yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan pengarahan dan koreksi demi terselesaikannya penulisan skripsi ini.
5. Ayahanda Much. Nurhaji dan Ibunda Nur Fatimah tercinta, yang telah membantu baik moril dan materiil, mendoakan, mendidik, dan memberi kasih sayang serta pengorbanan yang tidak terhingga selama ini.
6. Mas Lanang, Mas Uyab, mas Zipo, mas Bagas, Angga, Yusqi, Terry, dan yang lainnya, terima kasih banyak sudah meluangkan waktu membantu mengerjakan alatku.

7. Kekasihku Dyah Fitriana, yang telah mendoakan yang terbaik dan senantiasa memberiku semangat.
8. Keluarga besar Elektro UNEJ dari angkatan 2008, 2009, 2011 dan 2012, Team BB Corp, Laboratorium Konversi Energi Listrik, bersama kalian semua merupakan kenangan dan pengalaman yang tak akan pernah terlupakan.
9. Dan rekan-rekan seperjuangan PATEK UJ 2010 yang telah banyak membantu selama saya kuliah disini.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis menyadari masih banyak kekurangan, kritik dan saran tetap diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat. Aamiin

Jember, Mei 2014

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
RINGKASAN	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	4
1.6 Sistematika Pembahasan	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Motor Brushless Direct Current (BLDC)	5
2.1.1 Gambaran Umum Motor BLDC	5
2.1.2 Model Sistem Motor BLDC	6
2.1.3 Prinsip Kerja Motor BLDC	7
2.2 Inverter Tiga Fasa	9
2.3 Metode Six Step Commutation	10
2.4 Sensor Hall	12

2.5 Mikrokontroler	15
2.5.1 ATmega 16	16
2.5.2 ATmega 8	18
2.6 Pulse Width Modulation (PWM)	20
2.6.1 Dasar Pembangkitan PWM secara Digital	20
2.6.2 Pengaturan Kecepatan dengan Kontrol PWM	22
2.7 Proportional Integrative Derrivative (PID)	24
2.7.1 Pengontrol Proporsional.....	24
2.7.2 Pengontrol Integral	25
2.7.3 Pengontrol Derivative	26
2.7.4 Pengontrol PID	28
2.7.5 Penalaan Parameter Pengontrol PID	30
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	33
3.1.1 Tempat Penelitian	33
3.1.2 Waktu Penelitian	33
3.2 Alat dan Bahan	33
3.3 Diagram Alir Penelitian	34
3.4 Blok Diagram Sistem	36
3.4.1 Baterai	37
3.4.2 Power Supply	37
3.4.3 Mikrokontroler ATmega 16.....	38
3.4.4 Mikrokontroler ATmega 8	39
3.4.5 Sensor Hall	41
3.4.6 Rangkaian Driver Mosfet.....	42
3.4.7 Inverter Tiga Fasa	43
3.4.8 Motor BLDC	44
3.4.9 Generator DC	45
3.4.10 Beban	46
3.5 Algoritma Desain Software	46
3.6 Flowchart Pengujian Sistem	50

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1 Tujuan dan Metode Pengujian	55
4.2 Pengujian dan Analisa Sinyal PWM	55
4.3 Pengujian dan Analisa Kecepatan Motor	58
4.4 Pengujian dan Analisa Sensor Kecepatan	61
4.5 Pengujian Penalaan Parameter Kontrol PID	64
4.6 Pengujian dan Analisa Perbandingan Antara Tanpa Kontrol dengan Kontrol PID Saat Tanpa Beban dan Diberi Beban	65
4.6.1 Pengujian Saat Tanpa Beban	66
4.6.2 Pengujian Saat Diberi Beban	69
BAB 5. PENUTUP	78
5.1 Kesimpulan	78
5.2 Saran	79
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Tabel logika kebenaran sistem switching pada inverter BLDC..	13
Tabel 2.2 Penyederhanaan menggunakan <i>Peta Karnaugh</i>	15
Tabel 2.3 Efek dari kontrol P, I dan D	28
Tabel 2.4 Penalaan parameter PID dengan metode kurva reaksi	31
Tabel 2.5 Penalaan parameter PID dengan metode osilasi	32
Tabel 4.1 Bentuk perubahan sinyal PWM	56
Tabel 4.2 Pengaruh perubahan PWM atau dutycycle	58
Tabel 4.3 Perbandingan sensor kecepatan terhadap alat ukur	62
Tabel 4.4 Perhitungan PID secara matematis pada beban 188 Ω	73
Tabel 4.5 Proses kontrol PID dilihat dari bentuk sinyal	74
Tabel 4.6 Data hasil pengujian berbeban secara tidak langsung	76

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Rotor dan stator BLDC.....	5
2.2 Rangkaian ekivalen dari motor BLDC	6
2.3 Tegangan stator BLDC.....	8
2.4 Inverter 3 fasa	9
2.5 Mode konduksi 120°	10
2.6 Algoritma PWM six-step.....	11
2.7 Gelombang <i>trapezoid</i> 3 fasa	11
2.8 Algoritma PWM Six-Step 3 Fasa.....	11
2.9 Penempatan sensor hall pada stator.....	12
2.10 Urutan switch Q1-Q6	14
2.11 Konfigurasi Port Mikrokontroler AVR ATmega 16	17
2.12 Konfigurasi Port Mikrokontroler AVR ATmega 8	19
2.13 Proses pembangkitan sinyal	20
2.14 Clear up dan clear down.....	21
2.15 Sinyal PWM dengan variasi duty cycle	22
2.16 Upper phase PWM	23
2.17 Lower phase PWM	23
2.18 Pre-sixty Degree PWM	23
2.19 Post-sixty Degree PWM	24
2.20 Respon kontrol P.....	25
2.21 Respon kontrol P, I dan PI.....	26
2.22 Respon kontrol P, D, dan PD.....	27
2.23 Blok diagram kontrol PID	28
2.24 Respon Kontrol P, PI dan PID.....	29
2.25 Kurva dengan lonjakan 25%	30
2.26 Kurva respon berbentuk S	31
2.27 Kurva respon <i>sustain oscillation</i>	32
3.1 Diagram alir penelitian.....	34

3.2	Blok diagram kecepatan dan arah motor Brushless DC.....	36
3.3	Power supply.....	38
3.4	Schematic sistem minimum ATmega 8535/16/32.....	38
3.5	Desain PCB sistem minimum ATmega 16	39
3.6	Rangkain skematik sistem minimum ATmega 8.....	40
3.7	Layout sistem minimum tampak atas.....	40
3.8	Hall Sensor.....	41
3.9	Rangkaian pendeteksi/penguat sensor hall.....	41
3.10	Rangkaian pull-up untuk Sensor hall	42
3.11	IC optocoupler	42
3.12	Rangkaian skematik driver mosfet.....	43
3.13	Inverter tiga fasa.....	43
3.14	Motor BLDC.....	44
3.15	Generator DC	45
3.16	Flowchart algoritma desain software.....	46
3.17	Flowchart pengujian tanpa beban	51
3.18	Flowchart pengujian berbeban secara langsung	53
3.19	Flowchart pengujian berbeban secara tidak langsung	54
4.1	Kurva hubungan PWM terhadap kecepatan motor.....	59
4.2	Kurva hubungan antara speed sensor dan speed tachometer pada masing-masing nilai PWM.....	63
4.3	Kurva hubungan antara frekuensi sensor dan frekuensi osiloskop pada masing-masing nilai PWM.....	63
4.4	Respon metode osilasi dengan $K_p = 1,2$	65
4.5	Perbandingan antara tanpa kontrol dan dengan kontrol PID saat kecepatan setpoint 45 rpm	67
4.6	Perbandingan antara tanpa kontrol dan dengan kontrol PID saat kecepatan setpoint 120 rpm	67
4.7	Perbandingan antara tanpa kontrol dan dengan kontrol PID saat kecepatan setpoint 210 rpm	68
4.8	Waktu respon dengan beban 188Ω	70

4.9 Waktu respon dengan beban 141 Ω	70
4.10 Waktu respon dengan beban 94 Ω	71
4.11 Waktu respon dengan beban 47 Ω	71

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Pengujian Kecepatan Motor.....	82
B. Listing Program Mikrokontroler	84
C. Pengujian Tanpa Kontrol dan Kontrol PID Baik Saat Tanpa Beban dan Berbeban.....	92
D. Datasheet Mosfet IRFZ44N.....	96
E. Dokumentasi Alat	97