

**PENGATURAN KECEPATAN PADA MOTOR
BRUSHLESS DC (BLDC) MENGGUNAKAN PULSE
WIDTH MODULATION (PWM)**

LAPORAN TUGAS AKHIR



Oleh :

DANU AKBAR

14.F1.0013

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS KATOLIK SOEGIJAPRANATA

SEMARANG

2019

LEMBAR PENGESAHAN

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**Pengaturan Kecepatan Pada Motor BLDC Menggunakan PWM (Pulse Width Modulation)**” diajukan untuk memenuhi sebagian dari persyaratan dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro pada Program Studi Teknik Elektro di Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata Semarang.

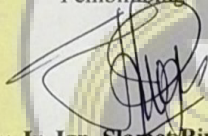
Laporan Tugas Akhir ini disetujui pada tanggal 9 Juli 2019.

Semarang, 9 Juli 2019

Menyetujui,

Pembimbing

Koordinator Tugas Akhir

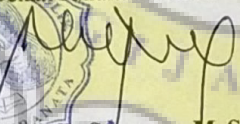

Prof. Dr. Ir. Ign. Slamet Rivadi, MT.
058.1.1992.110


Prof. Dr. Ir. Ign. Slamet Rivadi, MT.
058.1.1992.110

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Prodi Teknik Elektro


Dr. Ir. Djoko Suwarno, M. Si.
058.1.1988.032


Dr. Leonardo Heru Praromo, MT.
058.1.2000.234

**PERNYATAAN
KEASLIAN LAPORAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)**

Memperhatikan Surat Keputusan Rektor Universitas Katolik Soegijapranata Nomor:0047/SK.Rek/X/2013 tanggal 07 Oktober 2013, tentang Pernyataan Laporan Tugas Akhir, maka bersama ini Laporan Tugas Akhir Saya yang berjudul *“PENGATURAN KECEPATAN PADA MOTOR BRUSHLESS DC (BLDC) MENGGUNAKAN PULSE WIDTH MODULATION (PWM)”*, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa Tugas Akhir ini sebagian atau seluruhnya merupakan hasil plagiasi, maka saya rela untuk dibatalkan, dengan segala akibat hukumnya sesuai peraturan yang berlaku pada Universitas Katolik Soegijapranata dan / atau peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Semarang, 15 Juli 2019

Yang menyatakan,



DANU AKBAR
NIM. 14.E1.0013

ABSTRAK

Perkembangan teknologi dalam bidang transportasi berkembang cukup pesat khususnya pada kendaraan listrik, hal ini didasari oleh krisis bahan bakar fosil. Salah satu penggerak yang banyak digunakan di dalam kendaraan listrik adalah motor *brushless DC* (BLDC) dikarenakan motor BLDC memiliki kelebihan yaitu torka yang tinggi serta pengaturan kecepatannya mudah. Beberapa penelitian terkait motor BLDC telah dilakukan oleh para ahli di antaranya adalah pengaturan kecepatan BLDC, pembebanan pada motor BLDC serta lainnya. Pada tugas akhir ini akan membahas tentang pengaturan kecepatan motor *Brushless DC* dengan menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*), metode PWM pada prinsipnya adalah mengatur *duty cycle* yang dihasilkan oleh mikrokontroler untuk pensaklaran pada inverter tiga fasa. Semakin besar *duty cycle* maka kecepatan motor BLDC tersebut juga akan semakin tinggi dan sebaliknya. Untuk mendukung analisis maka dilakukan pengujian laboratorium.

Kata kunci : brushless dc, inverter tiga fasa, PWM (Pulse Width Modulation), mikrokontroler, duty cycle

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis haturkan kepada Allah SWT, karena atas berkat, rahmat dan mukjizat-Nya yang senantiasa menyertai penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir beserta Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“PENGATURAN KECEPATAN PADA MOTOR BRUSHLES DC (BLDC) MENGGUNAKAN PULSE WIDTH MODULATION (PWM)”**. Tugas akhir beserta laporan ini sebagai tugas penulis untuk menyelesaikan perkuliahan di Program Studi S1 Teknik Elektro Universitas Katolik Soegijapranata.

Dalam proses pembuatan tugas akhir dan penyusunan laporan, penulis mendapat bimbingan dan support dari berbagai pihak baik secara langsung maupun secara tidak langsung. Pada kesempatan kali ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang kepada :

1. Allah SWT yang senantiasa memberi rahmat, berkat, kemudahan dan kelancaran pelaksanaan Tugas Akhir dan penyusunan laporan.
2. Orang tua dan kakak penulis yang selalu memberi semangat dan dukungan baik secara moril maupun materiil kepada penulis.
3. Bapak Dr. Ign. Slamet Riyadi, MT, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah membimbing dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini dan yang memberikan saran, kritik, dan semangat serta subsidi komponen kepada penulis.
4. Bapak Dr. Ir. Djoko Suwarno, M. Si. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata Semarang.

5. Bapak Dr. Leonardus Heru Pratomo, MT., IPM. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, yang telah memfasilitasi laboratoruim dan perlengkapannya.
6. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata Semarang.
7. Yunus Chandra Wibowo selaku patner tugas akhir yang telah membantu menyelesaikan tugas khir.
8. Teman-teman seperjuangan yaitu teman-teman elektro angkatan 2014 terimakasih sudah menemani dan saling berdinamika bersama selama kuliah.
9. Teman-teman Elektro angkatan 2013, 2015, dan 2016 terima kasih atas doa dan dukungannya.
10. Teman-teman Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Universitas Katolik Soegijapranata.
11. Teman-teman fakultas lain yang turut mendukung saya.
12. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir beserta laporannya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih banyak kekurangan, maka penulis mengharapkan saran ataupun kritik dari berbagai pihak untuk perbaikan dan perkembangan kedepannya. Penulis juga menyampaikan permohonan maaf apabila terdapat hal-hal yang kurang berkenan dalam penulisan Laporan Tugas Akhir ini.

Besar harapan penulis semoga laporan ini dapat memberikan sumbangan yang berarti bagi kemajuan Iptek di lingkungan kampus, masyarakat dan negara.

Semarang, 2018

Danu Akbar



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	I	
LEMBAR PENGESAHAN	Ii	
PERNYATAAN KEASLIAN LAPORAN TUGAS AKHIR	Iii	
ABSTRAK	Iv	
KATA PENGANTAR	V	
DAFTAR ISI	viii	
DAFTAR GAMBAR	Xi	
DAFTAR TABEL	Xvii	
BAB I	PENDAHULUAN	
1.1.	Latar Belakang	1
1.2.	Perumusan Masalah	2
1.3.	Pembatasan Masalah	2
1.4.	Tujuan dan Manfaat	3
1.5.	Metodologi Penelitian	3
1.6.	Sistematika Penulisan	4
BAB II	KAJIAN PUSTAKA	
2.1.	Pendahuluan	6
2.2.	Motor BLDC	6
2.2.1	Prinsip Motor BLDC	11
2.2.2.	Sensor <i>Hall Effect</i>	12

2.3.	Inverter Tiga Fasa	13
2.4.	Mikrokontroler dsPIC30f4012	15
2.5.	PWM (Pulse Width Modulation)	17
2.6.	Driver	18

BAB III RANCANGAN DESAIN DAN IMPLEMENTASI

PENGATURAN KECEPATAN PADA MOTOR

BLDC MENGGUNAKAN PWM

3.1.	Pendahuluan	20
3.2.	IGBT model CPV364M4F	21
3.3.	Sensor Arus HX 10-P	22
3.4.	Rangkaian Driver	23
3.4.1.	TLP250	23
3.4.2.	IC <i>buffer</i> 74HC541	24
3.5.	Blok Kontrol	26
3.5.1.	Alogaritma Pemrograman <i>dsPIC30F4012</i>	27

BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

4.1.	Pendahuluan	28
4.2.	Hasil Simulasi Pada <i>Software</i> PSIM	28
4.3.	Hasil Pengujian Labolatorium	31
4.3.1.	Pengujian Motor BLDC	32

4.3.1.1.	Hasil Pengujian Ketika PWM 100%	33
4.3.1.2.	Hasil Pengujian Ketika PWM 75%	35
4.3.1.3.	Hasil Pengujian Ketika PWM 50%	38
4.3.1.4	Hasil Pengujian Ketika PWM 25%	41
4.3.1.5	Perbandingan Hasil Pengujian PWM 75%, 50% dan 25%	44
4.4.	Pembahasan	45
BAB V	PENUTUP	
5.1.	Kesimpulan	47
5.2.	Saran	47
DAFTAR PUSTAKA		48
LAMPIRAN		49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Motor BLDC	7
Gambar 2.2.	Stator Motor BLDC	8
Gambar 2.3.	Rangkaian ekivalen stator motor BLDC	8
Gambar 2.4.	Kurva karakteristik torka motor BLDC	10
Gambar 2.5.	Rotor motor BLDC	11
Gambar 2.6.	Magnet permanen pada rotor dan elektromagnet pada stator (a) untuk menghasilkan putaran searah jarum jam (b) untuk menghasilkan putaran berlawanan arah jarum jam	11
Gambar 2.7.	Sensor <i>Hall Effect</i>	12
Gambar 2.8.	Posisi sensor <i>Hall Effect</i>	13
Gambar 2.9.	Inverter tiga fasa	14
Gambar 2.10.	Gelombang hasil pensaklaran pada inverter	15
Gambar 2.11.	Konfigurasi pin <i>dsPIC30F4012</i>	16
Gambar 2.12.	Penjelasan sinyal PWM	17
Gambar 3.1.	Diagram blok system	20
Gambar 3.2.	IGBT model CPV364M4F	21
Gambar 3.3.	Konfigurasi CPV364M4F	22
Gambar 3.4.	Skema blok sensor arus	23
Gambar 3.5.	Konfigurasi dari optocoupler TLP250	24
Gambar 3.6.	Konfigurasi pin 74HC541	25

Gambar 3.7.	Block <i>driver</i>	25
Gambar 3.8.	Skema sistem minimum dsPIC30F4012	26
Gambar 3.9.	Flowchart pemograman	27
Gambar 4.1.	Skema simulasi menggunakan <i>software</i> PSIM	29
Gambar 4.2.	Hasil simulasi gelombang arus fasa A pada <i>duty cycle</i> 75%	30
Gambar 4.3.	Hasil simulasi gelombang arus fasa A pada <i>duty cycle</i> 50%	30
Gambar 4.4.	Hasil simulasi gelombang arus fasa A pada <i>duty cycle</i> 25%	30
Gambar 4.5.	Hasil simulasi gelombang tegangan fasa A pada <i>duty cycle</i> 75%	31
Gambar 4.6.	Hasil simulasi gelombang tegangan fasa A pada <i>duty cycle</i> 50%	31
Gambar 4.7.	Hasil simulasi gelombang tegangan fasa A pada <i>duty cycle</i> 25%	31
Gambar 4.8.	Foto implementasi alat	32
Gambar 4.9.	Output dari mikrokontroller saat motor BLDC kondisi off <i>duty cycle</i> 100% (skala 250us/div, 5v/div)	33
Gambar 4.10.	Gelombang perbandingan arus dan tegangan fasa A pada <i>duty cycle</i> 100% (skala 5ms/div, CH1 1A/div, CH2 50v/div)	33
Gambar 4.11.	Gelombang arus tiap fasa pada <i>duty cycle</i>	34

	100% (skala 10ms/div, CH1 1a/div, CH2 1A/div) gelombang warna merah Ia, ungu Ib, dan biru Ic	
Gambar 4.12.	Gelombang tegangan tiap fasa pada <i>duty cycle</i> 100% (skala 5ms/div, CH1 20v/div) (a) tegangan Van, (b) tegangan Vbn, dan (c) tegangan Vcn	34
Gambar 4.13.	Gelombang tegangan antar fasa pada <i>duty cycle</i> 100% (skala 5ms/div, 50v/div) gelombang warna merah Vab, ungu Vbc, biru Vca	34
Gambar 4.14.	Kecepatan motor BLDC tanpa PWM	35
Gambar 4.15.	Output dari mikrokontroller saat motor BLDC kondisi off <i>duty cycle</i> 75% (skala 250us/div, 5v/div)	35
Gambar 4.16.	Gelombang perbandingan arus dan tegangan fasa A pada <i>duty cycle</i> 75% (skala 5ms/div, CH1 1A/div, CH2 50v/div)	36
Gambar 4.17.	Gelombang arus tiap fasa pada <i>duty cycle</i> 75% (skala 10ms/div, CH1 1a/div, CH2 1A/div) gelombang warna merah Ia, ungu Ib, dan biru Ic	36
Gambar 4.18.	Gelombang tegangan tiap fasa Van pada <i>duty cycle</i> 75% (skala 5ms/div, CH1	36

	20v/div)	
Gambar 4.19.	Gelombang tegangan tiap fasa Vbn pada <i>duty cycle</i> 75% (skala 5ms/div, CH1 20v/div)	37
Gambar 4.20.	Gelombang tegangan tiap fasa Vcn pada <i>duty cycle</i> 75% (skala 5ms/div, CH1 20v/div)	37
Gambar 4.21.	Gelombang tegangan antar fasa pada <i>duty cycle</i> 75% (skala 5ms/div, 50v/div) gelombang warna merah Vab, ungu Vbc, biru Vca	37
Gambar 4.22.	Kecepatan motor BLDC pada <i>duty cycle</i> 75%	38
Gambar 4.23.	Output dari mikrokontroller saat motor BLDC kondisi off <i>duty cycle</i> 50% (skala 250us/div, 5v/div)	38
Gambar 4.24.	Gelombang perbandingan arus dan tegangan fasa A pada <i>duty cycle</i> 50% (skala 5ms/div, CH1 1A/div, CH2 50v/div)	39
Gambar 4.25.	Gelombang arus tiap fasa pada <i>duty cycle</i> 50% (skala 10ms/div, CH1 1a/div, CH2 1A/div) gelombang warna merah Ia, ungu Ib, dan biru Ic	39
Gambar 4.26.	Gelombang tegangan tiap fasa Van pada	39

	<i>duty cycle</i> 50% (skala 5ms/div, CH1 20v/div)	
Gambar 4.27.	Gelombang tegangan tiap fasa Vbn pada <i>duty cycle</i> 50% (skala 5ms/div, CH1 20v/div)	40
Gambar 4.28.	Gelombang tegangan tiap fasa Vcn pada <i>duty cycle</i> 50% (skala 5ms/div, CH1 20v/div)	40
Gambar 4.29.	Gelombang tegangan antar fasa pada <i>duty</i> <i>cycle</i> 50% (skala 5ms/div, 50v/div) gelombang warna merah Vab, ungu Vbc, biru Vca	40
Gambar 4.30.	Kecepatan motor BLDC pada <i>duty cycle</i> 50%	41
Gambar 4.31.	Output dari mikrokontroler saat motor BLDC kondisi off <i>duty cycle</i> 25% (skala 250us/div, 5v/div)	41
Gambar 4.32.	Gelombang perbandingan arus dan tegangan fasa A pada <i>duty cycle</i> 25% (skala 5ms/div, CH1 1A/div, CH2 50v/div)	42
Gambar 4.33.	Gelombang arus tiap fasa pada <i>duty cycle</i> 25% (skala 10ms/div, CH1 1a/div, CH2 1A/div) gelombang warna merah Ia, ungu Ib, dan biru	42

Gambar 4.34.	Gelombang tegangan tiap fasa Van pada <i>duty cycle</i> 25% (skala 5ms/div, CH1 20v/div)	42
Gambar 4.35.	Gelombang tegangan tiap fasa Vbn pada <i>duty cycle</i> 25% (skala 5ms/div, CH1 20v/div)	
Gambar 4.36.	Gelombang tegangan tiap fasa Vcn pada <i>duty cycle</i> 25% (skala 5ms/div, CH1 20v/div)	
Gambar 4.37.	Gelombang tegangan antar fasa pada <i>duty</i> <i>cycle</i> 25% (skala 5ms/div, 50v/div) gelombang warna merah Vab, ungu Vbc, biru Vca	43
Gambar 4.38.	Kecepatan motor BLDC pada <i>duty cycle</i> 25%	44
Gambar 4.39.	Gelombang arus tiap fasa A (skala 10ms/div, CH1 1A/div, CH2 1A/div) gelombang warna merah <i>duty cycle</i> 75%, ungu <i>duty cycle</i> 50%, kuning <i>duty cycle</i> 25%	44
Gambar 4.40.	Tegangan fasa A (skala 5ms/div, 50V/div) gelombang warna merah <i>duty cycle</i> 75%, ungu <i>duty cycle</i> 50%, kuning <i>duty cycle</i> 25%	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Konfigurasi pensaklaran inverter tiga fasa	14
Tabel 2.2.	Spesifikasi dsPIC30f4012	17
Tabel 3.1.	Spesifikasi TLP250	24
Tabel 4.1.	Parameter komponen simulasi	29
Tabel 4.1	Hasil Pengujian	45

