



**SISTEM KENDALI *PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE*
KECEPATAN MOTOR *BRUSHLESS* DC DENGAN SENSOR
KECEPATAN PUTAR**

SKRIPSI

Oleh

**Sendy Nugrahatama Putra
NIM 091910201035**

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



**SISTEM KENDALI *PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE*
KECEPATAN MOTOR *BRUSHLESS* DC DENGAN SENSOR
KECEPATAN PUTAR**

SKRIPSI

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

oleh

Sendy Nugrahatama Putra
NIM 091910201035

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

PERSEMBAHAN

1. Tuhan Yang Maha Esa Allah SWT syukur Alhamdulillah selalau terucap yang telah memberikan Rahmat, Hidayahnya, serta petunjuk sehingga dapat terselesaikannya skripsi ini.
2. Salam dan anugerah selalu turchurkan junjungan nabi besar kita Nabi Muhammad SAW.
3. Papa dan Mama tercinta, **'Ir. Joko Efendi'** dan **'Winarnah'**, yang telah memberikan segenap perhatian, rasa cinta, kasih sayang, doa dan restu. Papa dan Mama aku takkan melupakan semuanya apa yang telah engkau berikan sejak aku dilahirkan sampai aku tumbuh dewasa, Sendy hanya bisa memberi apa yang terbaik, dengan segenap kemampuan jiwa dan raga Sendy.
4. Orang tua Sendy yang lain yang tercinta juga **'Mama Yanti Kotto'** dan **'Bapak Anwar Sanusi'**, terima kasih juga telah memberikan waktu, doa, dan perhatian juga ke Sendy, Sendy hanya bisa memberi apa yang terbaik, dengan segenap kemampuan jiwa dan raga Sendy.
5. **Om 'H. Widjas dan Tante 'Sri'** yang Sendy anggap sebagai orang tua kedua selama Sendy di Jember beserta keluarga yang lain, terima kasih sudah kasih Sendy bimbingan, support, doa dan yang paling Sendy bilang terima kasih yaitu makasih Om dan Tante udah anggap Sendy bagian keluarga dari Om dan Tante. Bagaimanapun Om dan Tante akan Sendy anggap sebagai orang tua yang Sendy cintai.
6. **Untuk "dirimu Flower"** terima kasih atas semua apa yang telah kamu berikan ke aq, baik doa, motifasi, kesabaranmu, dan kasih sayang mu dulu yang tulus dimana tak akan pernah aku lupakan. Semoga nanti kita bisa sama-sama sukses.

Aku harap nanti kita dapat bertemu kembali suatu saat nanti dengan banyak cerita-cerita yang baru selama kita berpisah. Amien.....

7. **Bapak Bambang Sujanarko** beserta keluarga terima kasih telah menjadi pendamping dan membimbing dengan segenap hati dalam mengerjakan skripsi ini sampai selesai terima kasih atas pinjaman rumahnya untuk dibuat menjadi Laboratorium.
8. Saudara-saudara : Pakde Goto, Bude Patmi, Mas Guruh dan Mas Roby terima kasih atas bantuan dan motivasinya buatku, semoga Sendy bisa jadi orang yang sukses.
9. Temen-temenku angkatan 2009 “**SAK LAWASE TETEP DULUR**” terima kasih kalian adalah inspirasi dan motivatorku dalam kuliah dan selalu kompak dalam kebersamaan, suka duka dibangku perkuliahan, (kompak dalam kebersamaan), Aku takkan lupa nama-nama kalian. “Sopo kene? Teknik, Teknik opo? Elektro, 2009??? Dulur....”semboyan ini akan aku ingat kawan sampai kapanpun.
10. Almamaterku tercinta Universitas Jember.

MOTO

Hai orang-orang yang beriman, Jadikanlah sabar dan shalatmu Sebagai penolongmu,
sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar

(Al-Baqarah: 153)¹

atau

Pendidikan merupakan perlengkapan paling baik untuk hari tua

(Aristoteles)²

atau

Apa pun hambatannya, bilang sama diri kamu sendiri, kalo kamu percaya sama
keinginan itu dan kamu nggak Bisa menyerah

(5 CM)³

¹ Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al Qur'an dan Terjemahannya*. Semarang: PT Kumusdasmoro Grafindo.

² <http://www.berikabar.com/2012/09/kumpulan-motto-hidup-dan-kata-bijak.html>

³ Dhirgantoro Donny. 2005. *5 CM*. Jakarta: Grasindo

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Sendy Nugrahatama Putra

NIM : 091910201035

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul : “Sistem Kendali *Proportional Integral Derivative* Kecepatan Motor *Brushless* DC Dengan Sensor Kecepatan Putar” adalah benar-benar karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, 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 ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 05 Agustus 2013

Yang menyatakan,

Sendy Nugrahatama Putra

NIM 091910201035

SKRIPSI

**SISTEM KENDALI *PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE*
KECEPATAN MOTOR *BRUSHLESS* DC DENGAN SENSOR KECEPATAN
PUTAR**

Oleh

Sendy Nugrahatama Putra
NIM 091910201035

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Ir. Bambang Sujanarko M.M.
Dosen Pembimbing Anggota : Satryo Budi Utomo, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul: “Sistem Kendali *Proportional Integral Derivative* Kecepatan Motor *Brushless* DC Dengan Sensor Kecepatan Putar” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Jum’at, 27 September 2013

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

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

Satryo Budi Utomo, S.T., M.T.
NIP 19850126 200801 1 002

Tim Penguji,

Penguji I

Penguji II

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

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

Mengesahkan
Dekan,

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

Sistem Kendali *Proportional Integral Derivative* Kecepatan Motor *Brushless DC* Dengan Sensor Kecepatan Putar

Sendy Nugrahatama Putra

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Kebutuhan motor dalam industri dan rumah tangga semakin meningkat. Motor diharapkan mampu mengikuti *set point* kecepatan yang diberikan dengan nilai *error steady state* yang kecil dan performansi kecepatan yang baik. Pada penelitian ini didesain sistem kendali *proportional integral derivative* metode Ziegler Nichols untuk kecepatan motor *brushless Direct Current*. Verifikasi sistem kendali menggunakan satu set *Personal Computer* dan seperangkat *Peripheral Component Interconnect 1710HG*, rangkaian sensor kecepatan putar, aki 12 V dan motor *brushless DC* 500 W. Sensor kecepatan putar dan sistem *trigger* kontrol motor *brushless DC* didesain menggunakan *real time work* simulink Matlab. Sensor kecepatan mampu merespon perubahan kecepatan dalam waktu yang kurang dari 0,3 ms. Sensor ini menghasilkan respon yang lebih cepat dibandingkan sensor kecepatan konvensional. Pengujian kondisi *close loop* tanpa kontrol didapatkan data *error steady* sebesar 58,72%. Dengan uji *close loop* tersebut dan uji *open loop* serta dengan menggunakan metode Ziegler Nichols PID penalaan osilasi, didapatkan nilai $K_p = 0.513$; nilai $K_i = 0.615$ dan nilai $K_d = 0.15375$. Pengujian mendapatkan hasil bahwa kontrol PID lebih bagus dibandingkan kontrol P dan PI, dengan nilai *error steady state* sebesar 1.1% - 5.65 saat kondisi tanpa beban. Sedangkan pada kontrol PID dengan beban 0.38 Nm, didapatkan bahwa kontrol dapat mempertahankan kecepatan sesuai *setpoint* dengan nilai *error steady state* = 16,4% dan *recovery time* sebesar 11.5 detik.

Kata kunci: Motor BLDC, PCI 1710 HG, sensor kecepatan putar, PID Ziegler Nichols metode osilasi

Proportional Integral Derivative Control System Brushless DC Motor Speed With Speed Sensor

Sendy Nugrahatama Putra

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember

ABSTRACT

Implementation of motors in industry and households are grown rapidly. Motor expected to follow at giving set point with small steady-state error and good speed performances. In this research, the control system for brushless Direct Current motor speed is designed based on Ziegler Nichols method to determine proportional integral derivative value. Verification of control systems use a set of Personal Computer and a set of Peripheral Component Interconnect 1710HG, rotational speed sensor circuit, 12 V battery and 500W brushless motor. Rotational speed sensor designed using MATLAB Simulink and can respond less than 0.3 ms. This sensor can detect speed faster than conventional speed sensors. Experiment without control on close loop condition obtained error steady 58.72 %. Using this result and open-loop experiment on Ziegler Nichols tuning PID with oscillation method, the values of K_p is 0,513, K_i is 0,615 and K_d is 0,15375. Experiment can resulted that PID control used is better than P and PI control used, with steady-state error is 1.1 % - 5.65 % at no load condition. While at PID control and on 0,38 Nm load, found that the control can maintain speed according to set point speed, with steady state error on 16.4 % and recovery time on 11.5 seconds.

Keywords: *BLDC Motor, HG 1710 PCI, rotational speed sensors, PID Ziegler Nichols oscillation method*

RINGKASAN

Sistem Kendali *Proportional Integral Derivative* Kecepatan Motor *Brushless* DC Dengan Sensor Kecepatan Putar; Sendy Nugrahatama Putra, 091910201035; 2013; 97 halaman; Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Meningkatnya kemajuan teknologi pada saat ini, motor listrik ini menjadi bagian yang tidak dapat terpisahkan dalam kegiatan produksi dan rumah tangga, khususnya di pabrik-pabrik dan juga motor BLDC merupakan salah satu jenis motor yang dapat dikontrol dengan mudah dan presisi tinggi. Adapun suatu kebutuhan bahwa motor-motor tersebut dapat dikontrol dan memiliki performansi kecepatan yang baik dan mampu mengikuti *set point* kecepatan yang diberikan. Untuk mewujudkan tersebut maka dibutuhkan suatu kontroler. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dibuat sebuah prototipe sistem kendali *proportional integral derivative* metode Ziegler Nichols untuk kecepatan motor *brushless* DC dengan sensor kecepatan putar, dimana menggunakan beberapa rangkaian antara lain: rangkaian driver motor brushless, satu set interface seperangkat PC dan PCI, rangkaian sensor kecepatan putar, aki 12 V dan motor *brushless* DC 500W.

Penelitian ini dilakukan beberapa pengujian antara lain: Pengujian perangkat keras dan pengujian pemodelan sistem. Dari pengujian yang dilakukan, pengujian perangkat keras berjalan baik dimana keluaran pembacaan kecepatan dari sensor dapat digunakan sebagai sinyal umpan balik kontrol dan informasi kecepatan motor sampai 119 rpm. Pengujian pemodelan sistem saat kondisi *open loop* didapatkan bentuk repon plant merupakan orde 2 sehingga digunakan metode Ziegler Nichols dengan penalaan osilasi, didapatkan nilai $K_p = 0.513$; nilai $K_i = 0.615$ dan nilai $K_d = 0.15375$.

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain. Pada pengujian tanpa beban penggunaan kontrol PID lebih bagus dibandingkan kontrol P dan PI

dengan performansi kecepatan yang memiliki respon lebih stabil terhadap perubahan nilai masukan sinyal *step* dan nilai keluaran kecepatan yang telah dikontrol lebih mendekati keluaran kecepatan referensi yang diharapkan diimbangi dengan nilai error *steady state* yang kecil yaitu 1.1% - 5.65%. Pada implementasi kontrol PID dengan memberikan perubahan beban kontroler dapat mempertahankan kecepatan sesuai *setpoint* dengan nilai error *steady state* = 16.4% dan *recovery time* sebesar 11.5 detik pada saat diberi beban 0.38 Nm.

PRAKATA

Syukur Alhamdulillah ke hadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulisan laporan skripsi dengan judul “Sistem Kendali *Proportional Integral Derivative* Kecepatan Motor *Brushless* DC Dengan Sensor Kecepatan Putar” dapat diselesaikan. Karya tulis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Strata 1 pada Jurusan Teknik Elektro, Program-program Studi Teknik, Universitas Jember.

Penyusunan laporan ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan kali ini disampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Widyono Hadi, MT. selaku Ketua Program-program Studi Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Sumardi ST., MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Universitas Jember.
3. Bapak Dr. Ir. Bambang Sujanarko M.M selaku Pembimbing Utama juga membantu memberikan bimbingan.
4. Bapak Satryo Budi Utomo ST., MT selaku Pembimbing Pendamping juga membantu memberikan bimbingan
5. Kakak-kakak angkatan 2008 (Maz Bayu, Maz Zippo, Maz nopek) Teknik Elektro juga membantu dalam memberikan bimbingan dan tenaganya.
6. Para Dosen beserta seluruh karyawan Program-program Teknik Universitas Jember, terima kasih atas segala dukungannya selama ini.
7. Teman-teman seperjuangan S 1 Teknik Elektro 2009.

Demi kesempurnaan penulisan laporan skripsi ini, selalu diharapkan segala kritik dan saran dari semua pihak. Akhirnya, semoga tulisan ini dapat bermanfaat.

Jember, Agustus 2013

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
RINGKASAN	xi
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Pembahasan	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Motor DC Brushless	5
2.2 Driver Tiga Phasa	8
2.3 Proporsional Integral Derivative (PID)	11
2.3.1 Pengontrol PID.....	11

2.3.2	Penalaan Pengontrol PID Ziegler-Nichols.....	13
2.3.2.1	Metode Kurva Reaksi.....	14
2.3.2.2	Metode Osilasi.....	15
2.4	PCI 1710.....	16
2.5	Matlab.....	17
2.6	Metode Pendeteksian Perubahan Komutasi.....	18
2.7	Sensor Kecepatan Putar.....	20
2.8	Referensi Utama Hasil Jurnal Penelitian.....	22
BAB 3.	METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	25
3.1.1	Tempat Penelitian.....	25
3.1.2	Waktu Penelitian.....	25
3.2	Alat dan Bahan.....	25
3.2.1	Hardware.....	25
3.2.2	Software.....	26
3.3	Konfigurasi dan Prinsip Kerja Sistem.....	26
3.4	Perancangan Perangkat Keras Dan Program	
	Matlab Simulink.....	27
3.4.1	Perangkat PCI 1710HG dan PCLD 8710.....	28
3.4.2	<i>Personal Computer</i> dengan Program Matlab Simulink.....	28
3.4.3	Perangkat Driver Motor <i>Brushless</i>	30
3.4.4	Perangkat Sensor Kecepatan Putar.....	31
3.4.5	Catu Daya Driver Motor.....	34
3.4.6	Beban.....	35
3.4.7	Perencanaan Pada PCI CARD 1710.....	35
3.4.7.1	Koneksi PC dengan PCI card.....	35
3.4.7.2	Koneksi PCI Card dengan Perangkat Luar.....	37

3.5 Tahap Penelitian	38
3.5.1 Perancangan dan Pemodelan Sistem	40
3.5.1.1 Identifikasi <i>plant</i>	40
3.5.1.2 Program kontroler PID	41
3.5.2 Pengujian Sistem	42
3.5.3 Analisis Data Respon.....	42
BAB 4. PENGUJIAN SISTEM DAN ANALISIS DATA	42
4.1 Pengujian Sensor Rotary Encoder	42
4.2 Pengujian Pemodelan Sistem	44
4.2.1 Pengujian identifikasi respon sistem	44
4.2.2 Pengujian penalaan osilasi.....	45
4.3 Analisis Data	46
4.3.1 Analisis data pada saat <i>close loop</i> tanpa kontrol dan tanpa beban	46
4.3.2 Analisis data dengan kontrol P penalaan osilasi tanpa beban	48
4.3.3 Analisis data dengan kontrol PI penalaan osilasi tanpa beban	52
4.3.4 Analisis data dengan kontrol PID penalaan osilasi tanpa beban	57
4.3.5 Analisis data dengan kontrol PID penalaan osilasi berbeban.....	64
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	68
5.1 Kesimpulan	68
5.2 Saran	69

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1	Strategi Pengendalian Driver 9
2.2	Penalaan Paramater PID Dengan Metode Kurva Reaksi 15
2.3	Penalaan Paramater PID Dengan Metode Osilasi 16
3.1	Jadwal Kegiatan Penelitian 25
4.1	Data Pembacaan Kecepatan Putar Motor Dengan Sumber 12 V 44
4.2	Data Error <i>Stedy State</i> Dan Keluaran Kecepatan Putar Motor 49
4.3	Pengujian Kontrol P Penalaan Osilasi Tanpa Beban 52
4.4	Pengujian Kontrol PI Penalaan Osilasi Tanpa Beban 57
4.5	Pengujian Kontrol PID Penalaan Osilasi Tanpa Beban 61
4.6	Pengujian Kontrol PID Penalaan Osilasi Berbeban 67

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1	Penampang Motor BLDC 6
2.2	Medan Magnet Putar Stator Dan Perputaran Rotor 6
2.3	Skema Umum Driver Tiga Fasa 8
2.4	Tegangan Stator BLDC..... 8
2.5	Pembentukan Sinyal Pwm Sinusoidal 10
2.6	Blok Diagram Kontroler PID..... 12
2.7	Hubungan Dalam Fungsi Waktu Antara Sinyal Keluaran Dengan Masukan Untuk Pengontrol PID..... 12
2.8	Kurva <i>Respons</i> Tangga Satuan Yang Memperlihatkan 25 % Lonjakan Maksimum 13
2.9	Respon Tangga Satuan Sistem 14
2.10	Kurva Respons Berbentuk S 14
2.11	Sistem Untaian Tertutup Dengan Alat Pengontrol <i>Proporsional</i> .. 15
2.12	Kurva Respon <i>Sustain Oscillation</i> 16
2.13	Rangkaian Penempatan Hall Sensor 19
2.14	Sinyal Posisi Dari Sensor Hall 20
2.15	Skema Rotary Encoder 21
2.16	Rangkaian Tipikal Penghasil Pulsa Pada Rotary Encoder 21
3.1	Blok Diagram Sistem 26
3.2	Komponen Sistem Perangkat Keras..... 27
3.3	Diagram Perangkat PCI 1710hg Dan PCLD 8710 28
3.4	Diagram Perangkat PC Dengan Program Matlab Simulink 28
3.5	Program Matlab Simulink Pengendali Kecepatan Motor BLDC 29
3.6	Diagram Perangkat Driver Motor <i>Brushless</i> DC 30

3.7	Rangkaian Driver Motor <i>Brushless</i>	31
3.8	Diagram Perangkat Sensor Kecepatan.....	32
3.9	Rangkaian Skematik Sensor Kecepatan.....	32
3.10	Program Matlab Simulink Sensor Kecepatan	33
3.11	Diagram Perangkat Catu Daya Driver Motor BLDC	34
3.12	Diagram Perangkat Beban Motor BLDC.....	35
3.13	Layar Setup Pada Advantech Automation Software	36
3.14	Tampilan <i>Different Options For Driver Setup</i>	36
3.15	Test Koneksi PCI Dengan Personal	37
3.16	Tampilan Blok Parameter <i>Digital Output</i>	38
3.17	Tahap Alur Penelitian	39
3.18	Blok Diagram Sistem Keseluruhan Saat <i>Open Loop</i>	40
3.19	Program Matlab Simulink Kontrol PID Motor BLDC	41
4.1	Perbandingan Keluaran Kecepatan Sensor Terhadap Keluaran Kecepatan Tachometer Dan Hubungan Keluaran Sinyal Umpan Balik Sensor ..	45
4.2	Respon Keluaran Sinyal Umpan Balik Sensor Pada Masukan Sinyal <i>Step</i> = 5.....	46
4.3	Respon Metode Osilasi Dengan Masukan Sinyal <i>Step</i> = 1	47
4.4	Hubungan Sinyal Umpan Balik Sensor Kecepatan Dengan Keluaran Kecepatan Motor.....	49
4.5	Keluaran Sinyal Umpan Balik Sensor Dengan Masukan Sinyal (<i>Step</i>) = 1 (Kontrol P).....	50
4.6	Keluaran Sinyal Error Umpan Balik Sensor (<i>Step</i>) Dengan Masukan Sinyal (<i>Step</i>) = 1 (Kontrol P).....	51
4.7	Keluaran Sinyal Umpan Balik Sensor Dengan Masukan Sinyal (<i>Step</i>) = 1 (Kontrol PI)	54
4.8	Keluaran Sinyal Error Umpan Balik Sensor (<i>Step</i>) Dengan Masukan Sinyal (<i>Step</i>) = 1 (Kontrol PI)	55
4.9	Keluaran Sinyal Umpan Balik Sensor Dengan	

	Masukan Sinyal (<i>Step</i>) = 1 (Kontrol PID)	59
4.10	Keluaran Sinyal Error Umpan Balik Sensor (<i>Step</i>) Dengan Masukan Sinyal (<i>Step</i>) = 1 (Kontrol PID)	60
4.11	Tr (Rise Time) Keluaran Sinyal Umpan Balik Kontrol PI Dengan Kontrol PID	62
4.12	Ts (Settling Time) Keluaran Sinyal Umpan Balik Kontrol PI Dengan Kontrol PID	62
4.13	Perbandingan <i>Time Steady</i> Respon Keluaran Sinyal Umpan Balik Kontrol PI Dengan Kontrol PID	63
4.14	Perbandingan Keluaran Kecepatan Kontrol P, PI Dan PID Terhadap Keluaran Kecepatan Referensi Pada <i>Open Loop</i>	64
4.15	Perbandingan E% Keluaran Sinyal Umpan Balik Kontrol P, PI Dan Kontrol PID	64
4.16	Keluaran Sinyal Umpan Balik Sensor Dengan Masukan Sinyal <i>Step</i> = 5 Dengan Beban 100 W	66
4.17	Perbandingan Tr (Rise Time) Keluaran Sinyal Umpan Balik Kontrol PID Berbeban	68
4.18	Perbandingan Ts (Settling Time) Keluaran Sinyal Umpan Balik Kontrol PID Berbeban	68
4.19	Perbandingan <i>Recovery Time</i> Respon Sinyal Umpan Balik Kontrol PID Berbeban	69

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Gambar Alat Sensor Kecepatan Putar (Rotary Encoder).....	74
B. Gambar Alat Motor BLDC 500W.....	74
C. Gambar Alat Beban Motor DC Dibebani Lampu 100 W dan 200 W	75
D. Gambar Aki 12 V	76
E. Gambar PCLD 8710	76
F. Gambar Perangkat PC Dengan Dipasang PCI 1710HG	77
G. Gambar Rangkaian Catu Daya Driver Motor	78
H. Gambar Trafo 12 V AC Memiliki 4 Output	78
I. Gambar Rangkaian Driver Motor	79
J. Gambar card PCI 1710HG.....	79
K. Program Matlab Simulink Kontrol PID Motor BLDC	80
L. Program Matlab Simulink Kontrol PI Motor BLDC	81
M. Program Matlab Simulink Kontrol P Motor BLDC	82
N. Program Matlab Simulink Rangkaian Digital Untuk Pembangkitan Gelombang Six-Step Pada Motor BLDC.....	83
O. Data Respon Saat Kontrol P	85
P. Data Respon Saat Kontrol PI	89
Q. Data Respon Saat Kontrol PID	93
R. Data Respon Saat Kontrol PID Berbeban.....	97