

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan yang Maha Esa atas segala berkat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini.


Tugas Akhir dengan judul “Perancangan dan Realisasi Sistem Papan Penyeimbang Bola Berbasis Mikrokontroler Arduino” ini ditujukan untuk memenuhi salah satu persyaratan akademik untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Elektro Universitas Pelita Harapan, Tangerang.

Penyusunan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, serta doa dari berbagai pihak, sehingga Tugas Akhir dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini, yaitu kepada:

1. Eric Jobiliong, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UPH.
2. Dr. Henri P. Uranus, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro serta sebagai dosen pembimbing yang selalu membimbing dan memberi masukan, serta mendukung penulis selama mengerjakan Tugas Akhir.
3. Hendra Tjahyadi, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, nasehat, serta waktunya sehingga penulisan skripsi ini berjalan dengan lancar.
4. Semua dosen yang telah mengajar penulis selama berkuliah di Universitas Pelita Harapan.
5. Orang tua penulis atas jasa-jasanya yang terus memberikan semangat serta doanya untuk penulis.
6. Florencia Novita Halim yang terus memberikan semangat, doa serta dukungan kepada penulis.
7. Ivan Kusumo, Hansen Kurniawan, Dave Pratignyo, Joshua Hutabarat, Rafaelius Ary, dan Anthony Kukuh yang telah membentukkan bantuan serta saran kepada penulis.
8. Seluruh rekan-rekan mahasiswa Teknik Elektro angkatan 2013, 2014, 2015, 2016, dan 2017 yang telah mendukung dan memberikan semangat kepada penulis.

Akhir kata, penulis sadar bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun akan sangat bermanfaat bagi penulis. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat dalam rangka menambah wawasan pengetahuan dan pemikiran kita.

Tangerang, 24 Januari 2018

  
Theo Jeremiah



## DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TUGAS AKHIR.....	ii
PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR.....	iii
PERSETUJUAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR.....	iv
ABSTRAK .....	v
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xix
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Maksud dan Tujuan .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Sistematika Penulisan .....	3
BAB II. LANDASAN TEORI	
2.1 Modul Mikrokontroler Arduino .....	6
2.2 Servo MG996R.....	7
2.3 <i>Touchpad Sensor</i> .....	9

2.4 Joystick.....	15
2.5 PID Controller.....	16

### BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian.....	21
--------------------------------	----

### BAB IV. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN PAPAN PENYEIMBANG BOLA

4.1 Garis Besar Perancangan Papan Penyeimbang Bola.....	24
4.2 Perancangan <i>Hardware</i> Papan Penyeimbang Bola.....	28
4.3 Pemrograman Perangkat Lunak.....	31
4.3.1 Program untuk membaca titik lokasi bola di atas papan.....	34
4.3.2 Program untuk mengatur <i>setpoint</i> dari papan penyeimbang bola....	38
4.3.3 Kode program filter untuk mengurangi <i>noise</i> .....	46
4.3.4 Kode program untuk <i>update angle</i> servo.....	51
4.4 Implementasi sistem kontrol PID untuk papan penyeimbang bola.....	56
4.4.1 Pengaturan nilai Kp.....	60
4.4.2 Pengaturan nilai Kd.....	62
4.4.3 Pengaturan nilai Ki.....	64

### BAB V. PENGUJIAN PERANGKAT DAN ANALISIS DATA

5.1 Pengujian filter untuk pembacaan <i>Touchpad</i> .....	67
5.1.1 Pengujian pembacaan titik lokasi bola tanpa filter.....	68
5.1.2 Pengujian pembacaan titik lokasi bola dengan filter.....	69

5.2 Pengujian koefisien-koefisien PID.....	72
5.2.1 Kontroler P.....	72
5.2.2 Kontroler PD.....	76
5.2.3 Kontroler PID.....	79
5.2.4 Pengujian <i>transient response</i> dari kontroler PID.....	83
5.2.4.1 Pengujian <i>transient response</i> untuk PID koordinat <i>x</i> .....	84
5.2.4.2 Pengujian <i>transient response</i> untuk PID koordinat <i>y</i> .....	85
5.3 Pengujian sistem atas gangguan ( <i>Regulating</i> ).....	87
5.3.1 Pengujian <i>setpoint</i> pada titik tengah papan .....	88
5.3.2 Pengujian <i>setpoint</i> pada titik ujung kiri papan .....	92
5.3.3 Pengujian <i>setpoint</i> pada titik ujung atas papan .....	96
5.3.4 Pengujian <i>setpoint</i> pada titik ujung kiri atas papan .....	100
5.4 Pengujian <i>tracking</i> terhadap kontroler PID papan penyeimbang bola...104	
5.4.1 Pengujian <i>tracking</i> dengan pola kotak .....	104
5.4.2 Pengujian <i>tracking</i> dengan pola oval arah <i>Counter Clockwise</i> .....110	
5.4.3 Pengujian <i>tracking</i> dengan pola oval arah <i>Clockwise</i> .....115	
5.4.4 Pengujian <i>tracking</i> dengan pola lambang <i>infinity</i> .....120	
 BAB VI. PENUTUP	
6.1 Kesimpulan .....	125
6.2 Saran Pengembangan Selanjutnya .....	128
DAFTAR PUSTAKA .....	129

LAMPIRAN A: Keseluruhan Kode Program Papan Penyeimbang Bola.....A-1  
LAMPIRAN B: *Datasheet 4-wire Resistive Touchscreen*.....B-1  
LAMPIRAN C: *Datasheet Motor Servo MG996R*.....C-1



## DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1 Modul mikrokontroler Arduino.....	6
Gambar 2.2 Servo MG996R.....	8
Gambar 2.3 Perhitungan sudut kemiringan papan.....	9
Gambar 2.4 Cara Kerja <i>Touchpad Sensor</i> .....	10
Gambar 2.5 Data pin dan luas <i>touchpad</i> .....	11
Gambar 2.6 Data spesifikasi <i>touchpad</i> .....	11
Gambar 2.7 Pengukuran tegangan <i>touchpad</i> .....	12
Gambar 2.8 Koordinat X dan Y pada <i>touchpad</i> .....	12
Gambar 2.9 Tegangan <i>touchpad</i> (V) vs posisi bola (cm) koordinat.....	13
Gambar 2.10 Tegangan <i>touchpad</i> (V) vs posisi bola (cm) koordinat <i>x</i> .....	14
Gambar 2.11 <i>Joystick</i> .....	15
Gambar 2.12 Blok diagram kontrol PID.....	16
Gambar 2.13 Blok diagram kontrol PID papan penyeimbang bola.....	19
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> metodologi penelitian.....	21
Gambar 4.1 Bentuk fisik papan penyeimbang bola.....	25
Gambar 4.2 Desain papan pada Adobe Illustrator.....	26
Gambar 4.3 <i>Mini threaded rod ends</i> .....	27
Gambar 4.4 <i>Universal joint</i> .....	28

Gambar 4.5 Skema rangkaian papan penyeimbang bola.....	29
Gambar 4.6 Diagram blok perangkat.....	29
Gambar 4.7 <i>Flowchart</i> program utama.....	33
Gambar 4.8 <i>Pin wire</i> pada <i>touchpad</i> .....	34
Gambar 4.9 <i>Flowchart</i> kode program <i>touchpad</i> .....	36
Gambar 4.10 <i>Flowchart</i> fungsi ‘ <i>gantisetpoint()</i> ’.....	39
Gambar 4.11 <i>Flowchart</i> kode program <i>setpoint</i> dengan <i>joystick</i> .....	40
Gambar 4.12 <i>Setpoint x</i> dan <i>y</i> pola kotak.....	43
Gambar 4.13 <i>Setpoint x</i> dan <i>y</i> pola oval.....	45
Gambar 4.14 <i>Setpoint x</i> dan <i>y</i> pola lambang <i>infinity</i> .....	46
Gambar 4.15 <i>Noise input</i> yang berasal dari <i>touchpad sensor</i> .....	47
Gambar 4.16 <i>Flowchart</i> kode program filter.....	48
Gambar 4.17 Sudut kemiringan papan vs kemiringan servo.....	52
Gambar 4.18 <i>Flowchart update angle</i> servo.....	54
Gambar 4.19 <i>Tuning</i> PID koordinat <i>x</i> dengan koefisien <i>Kp</i> .....	60
Gambar 4.20 <i>Tuning</i> PID koordinat <i>y</i> dengan koefisien <i>Kp</i> .....	61
Gambar 4.21 <i>Tuning</i> PID koordinat <i>x</i> dengan koefisien <i>Kp Kd</i> .....	62
Gambar 4.22 <i>Tuning</i> PID koordinat <i>y</i> dengan koefisien <i>Kp Kd</i> .....	63
Gambar 4.23 <i>Tuning</i> PID koordinat <i>y</i> dengan koefisien <i>Kp Ki Kd</i> .....	65
Gambar 4.24 <i>Tuning</i> PID koordinat <i>y</i> dengan koefisien <i>Kp Ki Kd</i> .....	66
Gambar 5.1 Pembacaan <i>touchpad</i> koordinat <i>x</i> tidak memakai filter .....	68

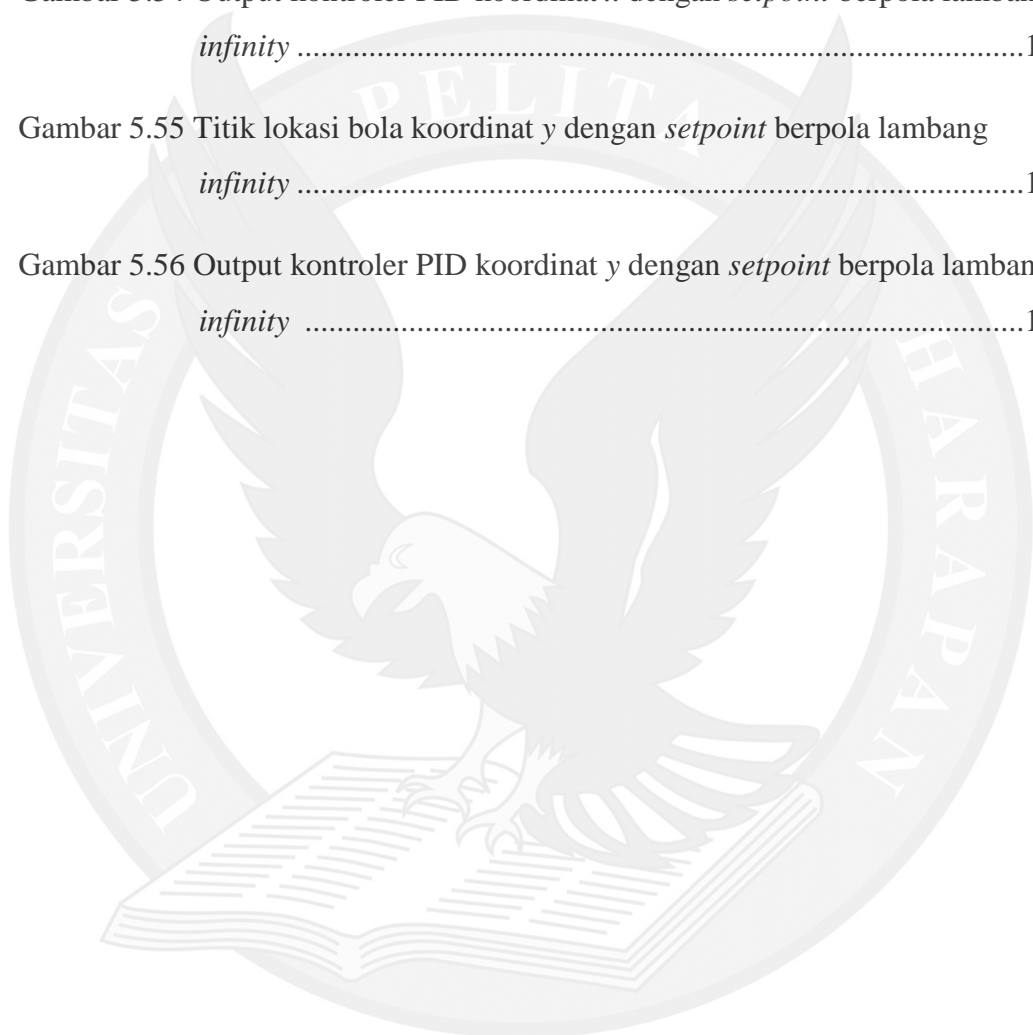


Gambar 5.2 Pembacaan <i>touchpad</i> koordinat $y$ tidak memakai filter.....	69
Gambar 5.3 Pembacaan <i>touchpad</i> koordinat $x$ dengan filter .....	70
Gambar 5.4 Pembacaan <i>touchpad</i> koordinat $y$ dengan filter.....	71
Gambar 5.5 Lokasi bola koordinat $x$ dengan kontroler P .....	73
Gambar 5.6 <i>Output</i> kontroler P untuk koordinat $x$ .....	73
Gambar 5.7 Lokasi bola koordinat $y$ dengan kontroler P .....	74
Gambar 5.8 <i>Output</i> kontroler P untuk koordinat $y$ .....	75
Gambar 5.9 Lokasi bola koordinat $x$ dengan kontroler PD .....	76
Gambar 5.10 <i>Output</i> kontroler PD untuk koordinat $x$ .....	77
Gambar 5.11 Lokasi bola koordinat $y$ dengan kontroler PD.....	78
Gambar 5.12 <i>Output</i> kontroler PD untuk koordinat $y$ .....	78
Gambar 5.13 Lokasi bola koordinat $x$ dengan kontroler PID .....	80
Gambar 5.14 <i>Output</i> kontroler PID untuk koordinat $x$ .....	80
Gambar 5.15 Lokasi bola koordinat $y$ dengan kontroler PID .....	81
Gambar 5.16 <i>Output</i> kontroler PID untuk koordinat $y$ .....	82
Gambar 5.17 <i>Transient response</i> .....	83
Gambar 5.18 Pengujian <i>transient response</i> untuk kontroler PID koordinat $x$ .....	84
Gambar 5.19 Pengujian <i>transient response</i> untuk kontroler PID koordinat $y$ .....	86
Gambar 5.20 Keempat titik <i>setpoint</i> untuk pengujian regulating .....	87
Gambar 5.21 Respon sistem terhadap gangguan pada titik tengah koordinat $x$ ....	88
Gambar 5.22 <i>Output</i> kontroler koordinat $x$ terhadap gangguan pada titik tengah.	89

Gambar 5.23 Respon sistem terhadap gangguan pada titik tengah koordinat $y$ ....	90
Gambar 5.24 <i>Output</i> kontroler koordinat $y$ terhadap gangguan pada titik tengah.	91
Gambar 5.25 Respon sistem terhadap gangguan pada titik 185 mm koordinat $x$ ..	92
Gambar 5.26 <i>Output</i> kontroler koordinat $x$ terhadap gangguan pada titik 185 mm.....	93
Gambar 5.27 Respon sistem terhadap gangguan pada titik 58 mm koordinat $y$ ....	94
Gambar 5.28 <i>Output</i> kontroler koordinat $y$ terhadap gangguan pada titik 58.....	95
Gambar 5.29 Respon sistem terhadap gangguan pada titik 119 mm koordinat $x$ ..	96
Gambar 5.30 <i>Output</i> kontroler koordinat $x$ terhadap gangguan pada titik 119 mm.....	97
Gambar 5.31 Respon sistem terhadap gangguan pada titik 82 mm koordinat $y$ ....	98
Gambar 5.32 <i>Output</i> kontroler koordinat $y$ terhadap gangguan pada titik 82 mm.....	99
Gambar 5.33 Respon sistem terhadap gangguan pada titik 185 mm koordinat $x$ .....	100
Gambar 5.34 <i>Output</i> kontroler koordinat $x$ terhadap gangguan pada titik 185 mm.....	101
Gambar 5.35 Respon sistem terhadap gangguan pada titik 82 mm koordinat $y$ .....	102
Gambar 5.36 <i>Output</i> kontroler koordinat $y$ terhadap gangguan pada titik 82 mm.....	103
Gambar 5.37 Titik lokasi bola koordinat $x$ dan $y$ dengan <i>setpoint</i> berpola kotak.....	105
Gambar 5.38 Titik lokasi bola koordinat $x$ dengan <i>setpoint</i> berpola kotak .....	106

Gambar 5.39 <i>Output</i> kontroler PID koordinat $x$ dengan <i>setpoint</i> berpola kotak.....	106
Gambar 5.40 Titik lokasi bola koordinat $y$ dengan <i>setpoint</i> berpola kotak.....	108
Gambar 5.41 <i>Output</i> kontroler PID koordinat $y$ dengan <i>setpoint</i> berpola kotak.....	108
Gambar 5.42 Titik lokasi bola koordinat $x$ dan $y$ dengan <i>setpoint</i> berpola oval CCW .....	110
Gambar 5.43 Titik lokasi bola koordinat $x$ dengan <i>setpoint</i> berpola oval CCW.....	111
Gambar 5.44 <i>Output</i> kontroler PID koordinat $x$ dengan <i>setpoint</i> berpola oval CCW .....	111
Gambar 5.45 Titik lokasi bola koordinat $y$ dengan <i>setpoint</i> berpola oval CCW.....	113
Gambar 5.46 <i>Output</i> kontroler PID koordinat $y$ dengan <i>setpoint</i> berpola oval CCW .....	113
Gambar 5.47 Titik lokasi bola koordinat $x$ dan $y$ dengan <i>setpoint</i> berpola oval CW.....	115
Gambar 5.48 Titik lokasi bola koordinat $x$ dengan <i>setpoint</i> berpola oval CW.....	116
Gambar 5.49 <i>Output</i> kontroler PID koordinat $x$ dengan <i>setpoint</i> berpola oval CW.....	116
Gambar 5.50 Titik lokasi bola koordinat $y$ dengan <i>setpoint</i> berpola oval CW... ..	118
Gambar 5.51 <i>Output</i> kontroler PID koordinat $y$ dengan <i>setpoint</i> berpola oval CW.....	118

Gambar 5.52 Titik lokasi bola koordinat $x$ dan $y$ dengan <i>setpoint</i> berpola lambang <i>infinity</i> .....	120
Gambar 5.53 Titik lokasi bola koordinat $x$ dengan <i>setpoint</i> berpola lambang <i>infinity</i> .....	121
Gambar 5.54 Output kontroler PID koordinat $x$ dengan <i>setpoint</i> berpola lambang <i>infinity</i> .....	121
Gambar 5.55 Titik lokasi bola koordinat $y$ dengan <i>setpoint</i> berpola lambang <i>infinity</i> .....	123
Gambar 5.56 Output kontroler PID koordinat $y$ dengan <i>setpoint</i> berpola lambang <i>infinity</i> .....	123



## DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 4.1 Cara pengukuran koordinat $x$ dan $y$ dari touchpad.....	35
Tabel 4.2 Perhitungan koefisien <i>tuning</i> sistem kontrol dengan metode Ziegler Nichols.....	60
Tabel 4.3 Respon dari sistem ketika nilai-nilai koefisien PID dinaikkan.....	61

