LEMBAR PENGESAHAN

REALISASI PENGENDALI PID PADA PENDULUM TERBALIK MENGGUNAKAN MIKROKONTROLLER ATMEGA8

Disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menempuh pendidikan Program Sarjana Jurusan Teknik Elektro

Disusun Oleh:

Talitha Reyhan

1.31.08.702

Bandung, Agustus 2011

Menyetujui,

Pembimbing	Ketua Jurusan Teknik Elektro
Muhammad Aria, MT	**Muhammad Aria, MT**
Nip: 4127.70.04.008	**Nip: 4127.70.04.008**

LEMBAR PENGESAHAN

REALISASI PENGENDALI PID PADA PENDULUM TERBALIK MENGGUNAKAN MIKROKONTROLLER ATMEGA8

Disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menempuh pendidikan Program Sarjana Jurusan Teknik Elektro

Disusun Oleh:

Talitha Reyhan

1.31.08.702

Bandung, Agustus 2011

Menyetujui,

Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2
Tri Rahajoeningroem, MT	**Bobi Kurniawan, ST, M.Kom**
Nip: 4127.70.04.015	**Nip: 4127.70.04.008**

ABSTRAK

Pendulum adalah sebuah bandul. Pendulum ada dua jenis yaitu, pendulum biasa (*direct*) dan pendulum terbalik atau seringdikenal sebagai *inverted pendulum* merupakan sistem dinamik yang tidak stabil, dimana pendulum akan jatuh ke kiri atau kanan akibat gaya tarik bumi jika tidak ada gaya luar yang mengimbanginya. Tetapi, sistemnya akan stabil dan dapat dikendalikan jika menggunakan *closedloop system*. Pengendali yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah PID yang dianggap mudah untuk direalisasikan.

Beberapa langkah yang dilakukan dalam tugas akhir ini, pertama mencari model dinamik dari pendulum terbalik dengan proses identifikasi, kemudian merekam input dan outputnya untuk mencari fungsi transfernya dengan mendekati persamaan umum pendulum terbalik. Selanjutnya dilakukan simulasi untuk mendesain pengendali agar pendulum dapat tegak, caranya adalah nilai dari masing-masing *gain* Kp, Ki, dan Kd dilakukan berdasarkan *trial and error.* Nilai dari *gain* ini akan diimplementasikan kedalam program.

Sensor yang digunakan adalah potensiometer yang berfungsi untuk menentukan posisi sudut pendulum untuk tetap stabil. Penggeraknya adalah digunakan sebuah motor servo.

Kata kunci: Pendulum terbalik, pengontrol *Proportional, Integral, Derivative* (PID), motor servo, potensiometer.

ABSTRACT

Pendulum there are two types of direct pendulum and inverted pendulum is an unstable dynamic system, where the pendulum will fall to the left or right due to gravity if no external force that compensates. But, the systems is stable and can be controlled using the closedloop system. Controllers used in this thesis is the PID that is considered easy to be realized.

Some of the stepstake in this thesis, the first searching for a dynamic model of the inverted pendulum with the identification process, then record input and output to find the transfer function by approaching the general equation of the inverted pendulum.And then performed simulations to design the controller so that the pendulum can be upright, how is the value of each gain Kp, Ki, and Kd is based on the trial and error. Value of the gain will be implemented into the program.

Sensor used is a potentiometer which is used to determine the angular position of the pendulum to remain stable. Driving used is a servo motor.

Keyword: Inverted pendulum, Proportional, Integral, Derivative controller (PID), servo motor, potentiometer.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr, Wb. Alhamdulillahi Rabbil ‘Alamin, puji syukur penulis panjatkan atas rahmat Allah SWT, yang telah memberikan segalanya kepada penulis termasuk kekuatan untuk menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul:

REALISASI PENGENDALI PID PADA PENDULUM TERBALIK MENGGUNAKAN MIKROKONTROLLER ATMEGA8

Tugas akhir ini membahas seputar pendulum terbalik. Topik tugas akhir ini bagi penulis bukanlah sesuatu yang mudah karena sebelum mengerjakannya secara intensif penulis harus berusaha keras untuk menelaah cara membangun model fisik maupun dinamiknya, untuk mendapatkan sistem yang *liniear*.

Tugas akhir ini merupakan suatu kewajiban bagi setiap mahasiswa Universitas Komputer Indonesia (UNIKOM) dengan tujuan untuk memenuhi persyaratan dalam memperoleh kelulusan pada program sarjana S1 jurusan Teknik Elektro.

Penulis menyadari laporan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna dan terbatas. Oleh karena itu, penulis mengharapkan koreksi dengan menerima saran dan kritik dari pembaca. Semoga tugas akhir seputar masalah ini diharapkan berkesinambungan dan kontributif.

Akhir kata penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis. Semoga tugas akhir ini bermanfaat.

Bandung, Agustus 2011

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama penulis mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, kasih sayang dan hidayahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini, Serta salam dan shalawat kepada Rasulullah yang telah menyampaikan islam kepadaku. Dalam tugas akhir ini penulis mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Tanpa menghilangkan rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan dan motivasi dalam penyelesaian tugas akhir ini.

1. Ayah dan bunda tercinta ucapan terima kasih yang sangat dalam tercurah untuk kalian berdua yang dengan sabar memberikan banyak dukungan baik itu berupa doa *everyday, everytime*, materiil, kasih sayang dan segalanya. Semua itu tidak dapat terukur nilainya dengan apapun. 압바 엄마 사랑해.
2. Kakak-kakakku, Akhyan, Anni, Lutfi, Khairul yang paling penulis sayangi yang telah memberikan doa dan *support* hingga penulis tetap punya semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Serta membantu penulis dalam memperoleh teori-teori yang dibutuhkan. 고맙습니다 너무보고싶어요.
3. Teh Fitri dan Rezky sekeluarga terima kasih atas doa serta motivasinya selama ini.
4. Bapak Muhammad Aria, MT. selaku ketua jurusan Teknik Elektro sekaligus dosen pembimbing yang telah memberikan banyak ilmu, pengarahan, bimbingan dan motivasi dalam pengerjaan tugas akhir ini.

5. Seluruh dosen jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan banyak ilmu terutama Ibu Tri Rahajoeningroem, MT, ibu Levy Olivia, MT, bapak Bobi Kurniawan M.Kom dan bapak Jana Utama, ST.
6. Seluruh dosen Universitas Komputer Indonesia (UNIKOM).
7. Bapak Ir. Eddy Suryanto, M.Sc. selaku Rektor Universitas Komputer Indonesia.
8. Bapak Dr. Arry Akhmad Arman selaku Dekan Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Komputer Indonesia (UNIKOM).
9. Teman-temanku Wilhelmina, Wiandini, Eci, Ian, terima kasih atas *support*nya dan telah membantu penulis dalam merampungkan tugas akhir ini. Serta teman-teman yang lain seperjuangan yang tak bisa penulis sebutkan satu persatu.
10. Dan pihak-pihak lain yang banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir yang tidak mungkin disebutkan semuanya disini. Sekali lagi penulis mengucapkan banyak terima kasih yang tak terhingga.

Semoga Allah SWT membalas atas semua kebaikan dan bantuan yang telah dilakukan dengan sesuatu yang lebih baik dan apabila penulis mempunyai kesalahan mohon dimaafkan sebesar-besarnya.

Bandung, Agustus 2011

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL..... i

HALAMAN PENGESAHAN..... ii

ABSTRAK..... iv

ABSTRACT..... v

KATA PENGANTAR..... vi

UCAPAN TERIMA KASIH..... vii

DAFTAR ISI..... ix

DAFTAR GAMBAR..... xii

DAFTAR TABEL..... xv

BAB I PENDAHULUAN..... 1

1.1 Latar Belakang..... 1

1.2 Tujuan Akhir 2

1.3 Rumusan Masalah..... 2

1.4 Batasan Masalah..... 3

1.5 Metodologi Penelitian..... 3

1.6 Sistematika Pembahasan 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... 5

2.1 Teori Pendulum Terbalik..... 5

2.1.1 Analisis Gaya dan Sistem Persamaan..... 6

2.1.2 Fungsi Transfer..... 8

2.1.3 Kestabilan Sistem…… 8

2.2 Pengontrol *Proportional Integral Derivative* (PID)…… 12

2.2.1 Teori Pengontrol *Proportional Integral Derivative* (PID).. 13

2.2.2 Kontroller PID……. 21

2.3 Mikrokontroller AVR ATmega8…….. 22

2.3.1 Konfigurasi Pin AVR ATmega8…….. 23

2.3.2 Status Register AVR ATmega8……... 24

2.3.3 Memori Program ATmega8……. 28

2.3.4 SRAM Data Memori…… 29

2.4 Motor Servo……. 30

2.4.1 Jenis-jenis Motor Servo……... 30

2.4.2 Prinsip Kerja Motor Servo……... 32

2.5 Potensiometer……... 34

2.5.1 Konstruksi Potensiometer…… 35

2.5.2 Jenis-jenis Potensiometer……..... 35

2.6 *Pulse Width Modulation* (PWM)……. 36

2.7 Bahasa Pemrograman…….. 39

2.8 RS232…….. 43

2.8.1 Karakteristik Sinyal Serial Port……... 45

2.8.2 Konfigurasi Serial Port…… 46

BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SISTEM……. 48

3.1 Konstruksi Fisik Pendulum Terbalik…….. 48

3.2 Rangkaian Elektronika Pendulum Terbalik……..... 50

3.3 Rangkaian Potensiometer Sebagai Sensor…….. 53

3.4 Rangkaian Adaptor…….. 53

3.5 Rangkaian Sistem Minimun, ADC Dan Motor Servo……... 54

3.6 Program Pada Pendulum Terbalik……... 55

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA…… 60

4.1 Mosel Sistem…… 60

4.2 Model Sistem *Open Loop*……..... 61

4.3 Model Sistem *Closedloop*……... 63

4.4 Pengujian Dengan Mengubah-ubah *Gain*…….. 65

4.4.1 Mempertahankan *Gain* Kp, Ki Tetap & Kd Diubah-ubah 65

4.4.2 Mempertahankan *Gain* Kp, Kd Tetap & Ki Diubah-ubah 68

4.4.3 Mempertahankan *Gain* Ki, Kd Tetap & Kp Diubah-ubah 74

BAB V PENUTUP…….. 80

5.1. Kesimpulan…… 80

5.2. Saran…… 80

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Desain pendulum terbalik……..	5
Gambar 2.2	Dua bangun diagram sistem kereta pendulum……..	6
Gambar 2.3	Respon letak pole dan zero sistem……	10
Gambar 2.4	Respon sistem saat mencapai steady state…….	10
Gambar 2.5	Respon letak pole dan zero pada bidang kompleks……..	11
Gambar 2.6	Respon waktu step system……..	11
Gambar 2.7	Diagram blok pengontrol PID……	13
Gambar 2.8	Diagram blok pengendali proportional……..	14
Gambar 2.9	*Proportional band* dari *proportional controller* tergantung pada penguatan.....	15
Gambar 2.10	Kurva sinyal kesalahan *e(t)* terhadap *t* dan kurva *u(t)* terhadap *t* pada pembangkit kesalahan nol……..	17
Gambar 2.11	Blok diagram hubungan antara besaran kesalahan dengan keluaran *integral controller*.....	17
Gambar 2.12	Perubahan keluaran sebagai akibat penguatan dan kesalahan	17
Gambar 2.13	Blok diagram kontroller *derivative*……	18
Gambar 2.14	Kurva waktu hubungan input-output kontroller *derivative*..	19
Gambar 2.15	Blok diagram kontroller PID analog.....	21
Gambar 2.16	Hubungan dalam fungsi waktu antara sinyal keluaran dengan masukan untuk kontroller PID.....	22
Gambar 2.17	Atmel AVR jenis ATmega8……...	23
Gambar 2.18	Konfigurasi pin……..	23

Gambar 2.19	Status register ATmega8……	26
Gambar 2.20	Memori program AVR ATmega8……..	28
Gambar 2.21	Memori data AVR ATmega8…….	29
Gambar 2.22	Motor servo……	30
Gambar 2.23	Pin out pada motor servo……..	31
Gambar 2.24	Sudut pada motor servo…….	31
Gambar 2.25	Pensinyalan motor servo……...	32
Gambar 2.26	Potensiometer satu putaran secara umum…….	34
Gambar 2.27	Potensiometer Linier……..	36
Gambar 2.28	Sinyal PWM……...	37
Gambar 2.29	(a), (b), dan (c) beberapa PWM dalam *duty cycle* yang berbeda……..	38
Gambar 2.30	Konektor RS232 atau DB9……	45
Gambar 2.31	Konektor port serial DB9……...	46
Gambar 3.1	Model rancangan pendulum terbalik…….	48
Gambar 3.2	(a) Dudukan motor servo tampak samping, (b) Dudukan motor servo tampak atas, (c) Batang stick…….	49
Gambar 3.3	Konstruksi fisik pendulum terbalik……	49
Gambar 3.4	Blok diagram sistem pendulum terbalik……	50
Gambar 3.5	*Flowchart* system……..	52
Gambar 3.6	Rangkaian potensiometer ke mikro……...	53
Gambar 3.7	Rangkaian adaptor…….	54
Gambar 3.8	Rangkaian sistem minimum, ADC dan motor servo…….	55
Gambar 4.1	Respon *open loop* sistem pendulum terbalik…….	63

Gambar 4. 2	Blok *simulink closedloop system*.....	64
Gambar 4.3	Respon pendulum terbalik…….	64
Gambar 4.4	Respon posisi pendulum Kp = 50, Ki = 0,01 & Kd = 0.1…	66
Gambar 4.5	Respon PWM Kp = 50, Ki = 0,01 & Kd = 0,1…….	67
Gambar 4.6	Respon posisi pendulum Kp = 50, Ki = 0,01 & Kd = 0,2…	69
Gambar 4.7	Respon PWM Kp = 50, Ki = 0,01 & Kd = 0,2…….	70
Gambar 4.8	Respon posisi pendulum Kp = 50, Ki = 0,02 & Kd = 0,2…	72
Gambar 4.9	Respon PWM Kp = 50, Ki = 0,02 & Kd = 0,2…….	73
Gambar 4.10	Respon posisi pendulum Kp = 10, Ki = 0,01 & Kd = 0,2…	75
Gambar 4.11	Respon PWM Kp = 10, Ki = 0,01 & Kd = 0,2…….	76
Gambar 4.12	Respon posisi pendulum Kp = 100, Ki = 0,01 & Kd = 0,2..	78
Gambar 4.13	Respon PWM Kp = 100, Ki = 0,01 & Kd = 0,2……...	79

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Efek setiap pengontrol pada loop tertutup…… 20

Tabel 2.2 Tipe Data……... 41

Tabel 2.3 Daftar Operator Aritmetika…….. 42

Tabel 2.4 Daftar Operator Kondisi…….. 42

Tabel 2.5 Daftar Operator Logika……. 43

Tabel 2.6 Daftar Operator Bitwise……..... 43

Tabel 2.7 Konfigurasi pin dan nama sinyal konektor serial DB9……..... 46

Tabel 4.1 *Open loop* system…….. 61

Tabel 4.2 Hasil pengujian pendulum terbalik…….. 65

Tabel 4.3 Hasil pengujian pendulum terbalik…….. 68

Tabel 4.4 Hasil pengujian pendulum terbalik…… 71

Tabel 4.5 Hasil pengujian pendulum terbalik…… 74

Tabel 4.6 Hasil pengujian pendulum terbalik…… 77