



Implementasi Kontrol *Swing-up* dan *Tracking* pada *Inverted Pendulum*

SKRIPSI

**Fajar Arief Cahya Utama
NIM : 071910201027**

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



Implementasi Kontrol *Swing-up* dan *Tracking* pada *Inverted Pendulum*

SKRIPSI

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

Fajar Arief Cahya Utama
NIM : 071910201027

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Implementasi Kontrol *Swing-up* dan *Tracking* pada *Inverted Pendulum*” telah diuji dan disahkan pada :

Hari : Selasa

Tanggal : 24 September 2013

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Pembimbing Utama (Ketua Penguji)

Pembimbing Anggota (Sekretaris)

Ir. Widyono Hadi , MT.
NIP 196104141989021001

Samsul Bachri Masmachofari S.T., M.MT
NIP 196403171998021001

Mengetahui,

Penguji I

Penguji II

Satryo Budi Utomo, S.T., M.T.
NIP 198501262008011002

Sumardi, S.T., M.T.
NIP 196701131998021001

Mengesahkan
Dekan
Fakultas Teknik

Ir. Widyono Hadi , MT.
NIP 196104141989021001

Implementasi Kontrol *Swing-Up* dan *Tracking* pada *Inverted Pendulum*

Fajar Arief Cahya Utama

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Penelitian ini berfokus pada pengendalian terhadap pendulum untuk melakukan swing up dan tracking. Swing up adalah upaya mengayunkan pendulum dari posisi kesetimbangannya ke posisi terbalik sedangkan tracking adalah upaya mempertahankan pendulum tetap pada posisi terbalik. Aplikasi dari penelitian ini adalah pengendalian terhadap perilaku roket agar pada saat diluncurkan tetap berada pada keadaan setimbang serta pada segway yang digunakan untuk mengangkat benda tertentu. Pada penelitian ini pendulum akan dipasangkan pada kereta yang berfungsi menggerakkan pendulum agar mencapai keadaan terbalik yang dikontrol menggunakan sistem minimum dengan mikrokontroler ATmega 16 dan motor DC. Sedangkan tracking menggunakan sensor gyroscope dan LCD sebagai display hasil pembacaan sensor. Terdapat dua metode pengujian pada penelitian ini, yang pertama metode pengendalian manual dimana kereta dikontrol secara manual dengan push button, yang kedua adalah metode pengendalian otomatis dengan memanfaatkan pembacaan sudut hasil sensor gyroscope. Selain kedua metode tersebut, batang pendulum juga divariasikan panjangnya untuk melihat pengaruhnya terhadap kinerja swing up. Hasilnya, pengujian manual berhasil dilakukan tetapi pengujian otomatis tidak. Hal ini dikarenakan pada pengujian otomatis yang memanfaatkan sensor gyroscope, sensor hanya dapat membaca kecepatan sudut dan tidak dapat mengkonversikannya ke besar sudut. Dari berbagai variasi panjang pendulum, dapat dilihat bahwa kereta berhasil melakukan swing up.

Kata kunci : pendulum; swing up; tracking; sudut pendulum; kontrol otomatis

Swing-Up Control Implementation and Tracking on Inverted Pendulum

Fajar Arief Cahya Utama

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRACT

This research is focused on the controlling of pendulum for swing up and tracking. Swing up is an act to switch or swing the pendulum from its balance position to its inverted position, while tracking is an act to keep the pendulum on its inverted position. The application of this control is on keeping the balance of the rocket while being fired and also for the segway which is a tool to lift a thing. On this research, pendulum is placed on a moving cart which has purpose to swing the pendulum. This system is controlled by ATmega 16 minimum system and DC motor while the tracking makes use of gyroscope sensor and LCD as the output display. There are two testing method in this research. The first one is the manual control which cart is manually controlled with a couple of push button. The second one is an automatic control which uses the output of gyroscope. Beside those two methods, the length of the pendulum is also varied for observated. The result shows that the manual testing method is succesfully done but not the automatic one. The automatic one can not be done because the system fail to read the degree of the pendulum's angle, this could happen because gyroscope can't convert the angular velocity into an angle value. The length of pendulum influences the result.

Keyword: *pendulum; swing up; tracking; pendulum angle;automatic control*

RINGKASAN

Implementasi Kontrol *Swing-Up* dan *Tracking* pada *Inverted Pendulum*; Fajar Arief Cahya Utama, 071910201027; 2013: 47 halaman; Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Jember.

Suatu pendulum selalu bergerak kembali ke posisi kesetimbangannya. Waktu yang diperlukan untuk mencapai posisi kesetimbangannya bergantung pada jarak antara titik tumpu dan titik beratnya. Pendulum terbalik (*inverted pendulum*) adalah sistem pendulum yang titik beratnya berada di atas titik tumpunya sehingga kesetimbangan yang dapat dicapai merupakan kesetimbangan labil. Kesetimbangan ini tidak mudah dicapai. Pada skripsi ini terdapat dua permasalahan, yaitu *swing-up* dan *tracking*. *Swing-up* adalah mengayunkan batang pendulum dari posisi menggantung ke posisi terbalik. Selanjutnya, pada masalah *tracking*, kereta penggerak dikontrol agar bergerak mengikuti sinyal referensi dengan tetap mempertahankan batang pendulum pada posisi terbalik. Sistem kontrol dapat dikatakan sebagai hubungan antara komponen yang membentuk sebuah konfigurasi sistem, yang akan menghasilkan tanggapan sistem yang diharapkan. Jadi harus ada yang dikendalikan, yang merupakan suatu sistem fisis, yang biasa disebut dengan kendalian (plant).

Penelitian ini berfokus pada pengendalian terhadap pendulum untuk melakukan swing up dan tracking. Perangkat keras yang dibutuhkan diantaranya rangkaian driver motor DC, rangkaian driver PWM, rangkaian sensor kemiringan, penguat *operasional amplifier* (op-amp), tampilan LCD, mikrokontroler ATmega 16.

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui kinerja alat apakah sesuai dengan yang dirancang. Pengujian dilakukan pada masing-masing blok dan kemudian secara keseluruhan sistem. Terdapat dua metode pengujian pada penelitian ini, yang pertama metode pengendalian manual dimana kereta dikontrol secara

manual dengan push button, yang kedua adalah metode pengendalian otomatis dengan memanfaatkan pembacaan sudut hasil sensor gyroscope. Selain kedua metode tersebut, batang pendulum juga divariasikan panjangnya untuk melihat pengaruhnya terhadap kinerja swing up. Pengujian juga meliputi pengujian rangkaian pencatu daya, sensor, sistem minimum, dan modul rangkaian driver motor. Hasil menunjukkan pengujian tiap rangkaian dapat bekerja dengan baik.

Dari pengujian didapatkan bahwa sistem dapat berputar terhadap sumbu z (*pitch*), pergerakannya dideskripsikan sebagai posisi P (ΘP) dan ωP (kecepatan sudut *angular velocity*). Pergerakan linier dideskripsikan dalam translasi (xRM) dan kecepatan linier (vRM). Perputaran sumbu vertikal (*yaw*) dikarenakan putaran roda. Dalam konteks lain juga dijelaskan bahwa sebuah *pole* (pendulum) yang dapat bergerak dan dilekatkan pada kereta melalui sebuah sumbu dapat diinterpretasikan sebagai sistem pendulum terbalik. Dari kedua penjelasan tersebut penulis mencoba menerapkan pada alat yang dirancang. Percobaan yang pertama dilakukan adalah percobaan secara manual yang mana batang pendulum dapat mengayun, hasil percobaannya sudah dijelaskan sebelumnya.

Dari hasil pengujian tersebut penulis kemudian melanjutkan percobaan secara otomatis, yaitu dengan mengimplementasikan sistem kontrol *swing-up & tracking* secara keseluruhan. Namun dalam prakteknya penulis mengalami kegagalan yang disebabkan oleh beberapa kendala antara lain, kendala pada mekanik sensor *gyro* dan program. Kendala yang dimaksud adalah sensor *gyro* GS-12 tidak mampu mengkonversi pembacaan kecepatan sudut ω menjadi pembacaan sudut θ seperti yang penulis harapkan.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah panjang batang pendulum berpengaruh pada proses *swing-up*, pengujian secara manual membutuhkan waktu yang lama untuk proses *swing-up*, alat yang dirancang oleh penulis tidak bekerja seperti yang diharapkan dan disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain pembuatan *plant* yang kurang presisi, putaran motor DC yang terlalu lambat, penggunaan sensor yang kurang peka, dan gesekan menyebabkan perlambatan kereta.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
ABSTRAK	vii
RINGKASAN	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penulisan	2
1.5 Manfaat Penulisan	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pendulum Terbalik	5
2.2 Sistem Kontrol	6
2.3 Sensor Kemiringan (Sensor Gyro)	8
2.4 Display LCD (Liquid Crystal Display)	9
2.4.1 Register	10
2.4.2 Busy Flag	10

2.4.3	Address Counter (AC)	11
2.4.4	Display Data RAM (DD RAM)	11
2.4.5	Character Generator ROM (CG ROM).....	11
2.5	Mikrokontroler Atmega 16	12
2.6	Motor DC.....	15
2.6.1	Prinsip Kerja Motor DC	16
2.6.2	Prinsip Arah Putaran Motor DC	18
2.7	<i>Embedded Module Series (EMS) 5A H-Brigde</i>	18
BAB 3.	METODELOGI PENELITIAN	21
3.1	Tempat dan Waktu Penelelitian.....	21
3.2	Tahapan Perancangan.....	21
3.2.1	Studi Literatur	21
3.2.2	Pembuatan Alat	22
3.2.3	Pengujian Alat	22
3.2.4	Analisa Sistem.....	22
3.2.5	Pengambilan Kesimpulan dan Saran	22
3.3	Alat dan Bahan	23
3.4	Diagram Alir Penelitian	23
3.5	Perancangan Sistem.....	24
3.5.1	Pemodelan Sistem Pendulum Terbalik	24
3.6	Blok Diagram Sistem.....	24
3.7	Power Supply	25
3.8	Sensor <i>Gyroscope GS-12</i>	25
3.9	Sistem Minimum	28
3.10	Pemodelan Sistem Kontrol <i>Inverted Pendulum</i>	28
3.11	Pemodelan Perangkat Lunak	29
3.12	Flowchart Sistem	30
BAB 4.	ANALISA DAN PEMBAHASAN	31
4.1	Pengujian Perangkat keras	31
4.1.1	Pengujian Rangkaian Pencatu Daya.....	32

4.1.2	Pengujian Modul Sensor <i>Gyroscope</i>	32
4.1.3	Pengujian Rangkaian Sistem Minimum Mikrokontroler Atmega 16.....	33
4.1.4	Pengujian Modul Rangkaian Driver Motor	34
4.1.5	Pengujian Rangkaian Driver LCD	36
4.2	Pengujian Keseluruhan Sistem.....	38
4.2.1	Pengujian Secara Manual.....	38
4.2.2	Pengujian Secara Otomatis	41
BAB 5.	KESIMPULAN DAN SARAN	46
5.1	Kesimpulan	46
5.2	Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 model <i>inverted</i> pendulum	6
2.2 Sistem pengendalian lup terbuka.....	7
2.3 Sistem pengendalian lup tertutup	7
2.4 Tampilan modul sensor gyro GS-12.....	9
2.5 LCD 16 x 2	10
2.6 Mikrokontroler ATmega 16	13
2.7 Motor D.C Sederhana	16
2.8 Prinsip kerja motor dc	17
2.9 Skema modul EMS 5 A H-Bridge.....	19
3.1 Diagram alir (<i>flowchart</i>) perancangan alat secara umum.....	23
3.2 Desain keseluruhan alat implementasi <i>swing-up</i> dan <i>tracking</i> pada <i>inverted</i> pendulum	24
3.3 Diagram Blok implementasi <i>swing-up</i> dan <i>tracking</i> pada <i>inverted</i> pendulum	24
3.4 Rangkaian catu daya.....	25
3.5 Tata letak pin pada modul sensor GS-12.....	26
3.6 Sistem minimum Atmega16 dengan rangkaian catu daya atau regulatornya	28
3.7 Diagram alir (<i>flowchart</i>) implementasi <i>swing-up</i> dan <i>tracking</i> pada <i>inverted</i> pendulum	30
4.1 <i>Plant</i> pendulum terbalik	31
4.2 Rangkaian driver LCD	37
4.3 keseluruhan kontrol manual	38
4.4 Proses <i>swing-up</i> pada pengujian secara manual	40
4.5 Pembacaan awal sensor dalam keadaan diam	42
4.6 Pembacaan sensor setelah beberapa saat.....	42

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Register selection pada LCD	10
2.2 Fungsi pin-pin pada LCD M1632.....	11
2.3 Keterangan nama dan fungsi tiap pin pada Mikrokontroler Atmega 16	13
2.4 Fungsi-fungsi setiap pin <i>Interface header</i> (J2).....	20
2.5 Fungsi dari setiap terminal	20
3.1 Jadwal kegiatan Penelitian	21
4.1 Hasil pengukuran tegangan pencatu daya	32
4.2 Pengujian sensor dalam keadaan diam ($ADC = 250$).....	33
4.3 Pengujian rangkaian sistem minimum.....	34
4.4 Pengujian modul driver motor tanpa beban.....	35
4.5 Pengujian modul driver motor dengan beban.....	36
4.6 Hasil pengujian keseluruhan sistem secara keseluruhan	39
4.7 Nilai $\Theta_{(T)}$ Terhadap Perubahan Nilai $T = 5$	40
4.8 Nilai $\Theta_{(T)}$ Terhadap Perubahan Nilai $T = 15$	40
4.9 Nilai $\Theta_{(T)}$ Terhadap Perubahan Nilai $T = 30$	41

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A Listing Program Mikrokontroller	48
B Perhitungan sudut $\theta(t)$	58
C Data Hasil Penelitian	62