



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**PEMODELAN DAN SIMULASI SISTEM
*CONTROL MAGNETIC LEVITATION BALL***

TUGAS AKHIR

**DISUSUN OLEH:
SINDU SUTOMO
L2E 605 241**

**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG
AGUSTUS 2012**

TUGAS SARJANA

- Diberikan kepada : Nama : Sindu Sutomo
NIM : L2E 605 241
- Dosen Pembimbing : Ir. Dwi Basuki Wibowo, MS
- Jangka Waktu : 12 Bulan (dua belas bulan)
- Judul : *Pemodelan dan Simulasi Sistem Control Magnetic Levitation Ball*
- Isi Tugas : 1. Memodelkan sistem *Magnetic Levitation Ball* menjadi model matematik.
2. Mensimulasikan sistem keseluruhan dari *magnetic levitation ball*

Semarang, 07 Agustus 2012

Menyetujui
Pembimbing Utama,



Ir. Dwi Basuki Wibowo, MS
NIP. 196204231987031003

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : SINDU SUTOMO

NIM : L2E 605 241

Tanda Tangan :



Tanggal : 07 Agustus 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
NAMA : SINDU SUTOMO
NIM : L2E 605 241
Jurusan/Program Studi : TEKNIK MESIN
Judul Skripsi : PEMODELAN DAN SIMULASI SISTEM
CONTROL MAGNETIC LEVITATION BALL

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing : Ir. Dwi Basuki Wibowo, MS
Penguji : Ir. Sugeng Tirta Atmadja, MT
Penguji : Yusuf Umardani, ST, MT
Penguji : Dr. Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT

()
()
()
()

Semarang, 0 Agustus 2012

Ketua
Jurusan Teknik Mesin,

()

Dr. Sulardjaka, ST, MT
NIP. 197104201998021001

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : SINDU SUTOMO
NIM : L2E 605 241
Jurusan/Program Studi : TEKNIK MESIN
Fakultas : TEKNIK
Jenis Karya : TUGAS AKHIR

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“PEMODELAN DAN SIMULASI SISTEM *CONTROL MAGNETIC LEVITATION BALL*”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal : 07 Agustus 2012

Yang menyatakan,



SINDU SUTOMO
L2E 605 241

ABSTRAK

Sudah sejak lama studi dan penelitian tentang magnet telah menghasilkan berbagai produk yang bermanfaat bagi umat manusia. Metode pelayangan magnet adalah termasuk hal baru yang hasil penelitiannya banyak diterapkan di sektor industri dan transportasi karena dapat mengurangi gesekan mekanis secara berarti. Meski penelitian-penelitian tersebut masih terus dilakukan dan terbukti sukses diterapkan pada kereta api cepat *Magnetic Levitation (maglev)* serta pengembangan bantalan magnet tak berfriksi, prinsip dasar pelayangan magnet dengan magnet elektrik ini masih terus dipelajari di banyak perguruan tinggi di dunia. Tujuannya terutama adalah melihat fenomena pelayangan benda melalui pengontrolan kuat medan magnet elektrik serta rentang kestabilan tinggi benda yang dilayangkan.

Sistem *Magnetic Levitation (Maglev)* ini bekerja pada gaya tarik antara gaya elektromagnetik dan benda. Selain itu objek yang akan dilayangkan adalah bola baja biasa. Untuk mencegah bola baja menempel pada electromagnet maka posisi benda harus bisa diperhitungkan dengan menggunakan sensor infra merah. Informasi dari sensor akan masuk pada rangkaian kontrol yang akan mengatur arus dalam elektromagnet.

Kata Kunci: *Magnetic Levitation (maglev)*, *electromagnet*, bola baja

ABSTRACT

Magnetic levitation is a method including the new research results are widely applied in industry and transport because it can significantly reduce the mechanical friction. Although these studies are still being implemented and proven successful applied to the Magnetic Levitation train (maglev) as well as the development of frictionless magnetic bearings, magnetic levitation with the basic principle of an electric magnet is still being studied in many universities in the world. The aim is mainly to see phenomena float objects through electrically controlled magnetic field strength and the range of objects that float high stability.

Magnetic Levitation System (Maglev) is working on the force and the electromagnetic force of attraction between objects. Besides the objects to be filed is ordinary steel balls. To prevent the steel balls attached to the electromagnet then position the object must be read by using infrared sensors. Information from the sensor will go to the control circuit that will regulate the current in the electromagnet.

Key Words: Magnetic Levitation (maglev), electromagnet, Steel Ball

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik dan hidayahnya dikaruniakan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Tugas Akhir yang berjudul “*Pemodelan Dan Simulasi Sistem Control Magnetic Levitation Ball*” untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Pendidikan Tingkat Sarjana Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terimakasih setulus-tulusnya kepada semua pihak yang telah membantu dan dorongan kepada penyusun selama penyusunan Tugas Akhir ini, diantaranya:

1. Kedua orang tua penulis, ayah dan ibu yang telah membesarkan penulis dan merawat dengan tulus dan ikhlas.
2. Ir. Dwi Basuki Wibowo ,MS selaku Pembimbing, yang juga telah memberikan bimbingan, pengarahan-pengarahan dan masukan-masukan kepada penulis untuk menyusun Tugas Akhir ini.
3. Rekan-rekan tugas akhir saudara “Pocy”, “Jackrowi” dan sahabat super kita “Dedy F” atas usahanya dalam membuat tugas akhir ini dan juga semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan.
4. Teman-teman angkatan 2005 yang masih mau berjuang untuk lulus, walaupun sudah di ujung tanduk. Terima kasih atas kebersamaan dan saling mengingatkan untuk tetap berjuang.

Dengan penuh kerendahan hati, penulis menyadari akan kekurangan dan keterbatasan pengetahuan yang penulis miliki dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak. Akhir kata semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan semakin menambah kecintaan dan rasa penghargaan kita terhadap Teknik Mesin Universitas Diponegoro.

Semarang, Juli 2012

Penulis

HALAMAN PERSEMBAHAN

TUGAS AKHIR INI KU PERSEMBAHKAN KEPADA

**KEDUA ORANG TUAKU DAN SAUDARA-SAUDARAKU
ATAS DUKUNGAN YANG TIADA HENTI BAIK MATERIIL
MAUPUN MORIIL**

**TEMAN-TEMANKU YANG SUDAH MEMBANTU DALAM
KELANCARAN TUGAS AKHIR INI**

DEVI HARMEIGAWATI

Saudara-ku Seperjuangan (Mesin 2005)

HALAMAN MOTTO

**MENGALAHKAN RASA TAKUT
ADALAH SUATU KEMENANGAN
TERBESAR DALAM HIDUP**

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Tugas Sarjana	ii
Halaman Pengesahan	iii
Abstraksi	iv
Kata Pengantar	vi
Halaman Persembahan	vii
Halaman Motto	viii
Daftar Isi	ix
Daftar Tabel	xiv
Daftar Gambar	xv
Nomenklatur	xvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan	2
1.3. Batasan masalah	2
1.4. Metodologi Penulisan	2
1.5. Sistematika Penulisan	3

BAB II DASAR TEORI

2.1. Pengertian Magnet	4
2.2. Bagian-Bagian magnet	5
2.3. Medan Magnet	6
2.3.1 Bentuk-bentuk Medan Magnet	7
2.3.2 Gaya Magnet	10
2.4. Macam-macam Magnet	13
2.5. Sifat Kemagnetan Bahan	20
2.6. Metode Pembuatan Magnet	24
2.7. Hukum Ampere	27

2.8. Aplikasi Magnet	28
----------------------------	----

BAB III KONSEP dan PEMODELAN MATEMATIK PELAYANGAN MAGNET PADA BOLA BAJA

3.1. Prinsip Kerja Magnetic Levitation Ball	32
3.2. Model Struktur Magnetic Levitation Ball	33
3.2.1 Digital to Analog Converter (DAC)	34
3.2.2 Power Amplifire	35
3.2.3 Solenoida	36
3.2.4 Bola Baja	37
3.2.5 Sensor Posisi	37
3.2.6 Analog to Digital Converter (ADC)	38
3.3. Model Matematika	39
3.4. Linearisasi	45
3.5. Fungsi Transfer	47
3.6. Kontrol	47
3.6.1 State Equations	48
3.6.2 Kontrol PID	51

BAB IV SIMULASI PELAYANGAN BOLA BAJA

4.1. Pendahuluan	53
4.2. Matlab/Simulink	53
4.3. Perhitungan dan Parameter	54
4.3.1 Parameter A/D converter dan D/A converter	54
4.3.2 Power Amplifire	55
4.3.3 Sensor Posisi	55
4.3.4 Sistem Pelayangan Bola Baja	57
4.4. Kontrol Sistem Pelayangan Bola Baja	59
4.4.1 State Space	59
4.4.2 Tuning Kontrol PID	62
4.4.3 Discrete PID kontrol	63

4.4.4 Kontrol Digital Menggunakan PID Discrete	65
4.5. Simulasi Simulink	66

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan	69
5.2. Saran	69

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Tanggapan sistem kontrol PID terhadap perubahan parameter	51
Tabel 4.1	Data output pada DAQ	54
Tabel 4.2	Data input pada DAQ	54
Tabel 4.3	Sensor Posisi	56
Tabel 4.4	Parameter-parameter pelayangan bola baja	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sumbu Magnet	5
Gambar 2.2 (a) susunan magnet elementer besi/baja sebelum menjadi magnet. (b) susunan magnet elementer besi/baja sesudah menjadi magnet	6
Gambar 2.3 Fluks medan magnet	7
Gambar 2.4 Garis medan magnet pada kawat lurus	8
Gambar 2.5 Medan magnet pada kawat <i>loop</i>	8
Gambar 2.6 Medan magnet pada magnet batang	9
Gambar 2.7 Medan magnet pada solenoida	9
Gambar 2.8 Medan magnet pada bumi	10
Gambar 2.9 Vektor gaya magnet	11
Gambar 2.10 Arah gaya magnet berdasarkan aturan tangan kanan	12
Gambar 2.11 Gambar Elektromagnet dan Ilustrasi Garis Gaya Magnet (a). Kumparan Solenoida, (b). Garis Medan Magnet pada Kawat Berarus, (c). Garis Medan Magnet pada Kawat Berarus dengan Inti Besi	13
Gambar 2.12 <i>Neodymium Magnet</i>	14
Gambar 2.13 <i>Samarium-Cobalt Magnets</i>	15
Gambar 2.14 Keramik magnet	15
Gambar 2.15 Plastic magnet	16
Gambar 2.16 Magnet Alnico	17
Gambar 2.17 Bentuk-bentuk magnet buatan	18
Gambar 2.18 Elektromagnet/solenoid	19
Gambar 2.19 Membuat Magnet dengan Cara Menggosok	25
Gambar 2.20 Membuat Magnet Dengan Cara Induksi	26
Gambar 2.21 Ujung besi A menjadi kutub utara	26
Gambar 2.22 Ujung besi A menjadi kutub selatan	27
Gambar 2.23 Hukum Ampere	27
Gambar 2.24 Magnetic Bearing	28
Gambar 2.25 Superkonduktor Magnet	29
Gambar 2.26 Meissner efek	29

Gambar 2.27 <i>Superkonduktor Magnetic Bearing</i>	30
Gambar 2.28 Maglev trains.....	31
Gambar 3.1 Sistem umpan balik	33
Gambar 3.2 Prinsip pelayangan magnet	34
Gambar 3.3 Power amplifier	35
Gambar 3.4 Sensor posisi	37
Gambar 3.5 Konfigurasi Pin ADC080xx	38
Gambar 3.6 Sistem <i>magnetic levitation ball</i>	39
Gambar 3.7 Skema kerja elektromagnetik	40
Gambar 3.8 Sistem elektrik	42
Gambar 3.9 Diagram blok sistem kontrol	48
Gambar 3.10 Diagram blok sistem kendali dalam <i>state-space</i>	49
Gambar 4.1 Grafik kalibrasi sensor posisi	56
Gambar 4.2 Sistem pelayangan bola baja non-linear	57
Gambar 4.3 Grafik rootlocus H_s	62
Gambar 4.4 Sistem kontrol digital	63
Gambar 4.5 Diagram blok PID	64
Gambar 4.6 <i>Root locus</i> fungsi transfer discrete Hz	65
Gambar 4.7 Gambar plant pelayangan bola baja	66
Gambar 4.8 Grafik hasil simulasi	67
Gambar 4.9 Visualisasi simulasi pelayangan bola baja	68

NOMENKLATUR

<u>Simbol</u>	<u>Keterangan</u>	<u>Satuan</u>
A	<i>System matrix</i> pada matriks <i>state space</i>	
B	<i>Input matrix</i> pada matriks <i>state space</i>	
C	<i>Output matrix</i> pada matriks <i>state space</i>	
D	<i>Matriks yang mewakili direct coupling</i> antara <i>input</i> dan <i>output</i>	
F	Gaya magnet	N
\vec{q}	Muatan listrik	C
\vec{v}	Kecepatan partikel	m/s
\vec{B}	Medan magnet	T
I	Arus listrik	A
L	Panjang kawat	m
μ	Permeabilitas bahan	T.m/A
N	lilitan	
A	Luas permukaan bahan solenoid	m ²
u	Model output voltage	V
u_{MU}	<i>D/A converter output</i>	MU
k_{DA}	<i>D/A converter gain</i>	V/MU
u_0	<i>D/A converter offset</i>	V
k_{am}	<i>Amplifire gain</i>	
K_s	<i>Current sensor gain</i>	
R_s	<i>Resistance of feedback resistor</i>	ohm
R_c	<i>Coil resistance</i>	ohm
L_c	<i>Coil inductance</i>	H
y	Sensor output voltage	V
y_0	Posisi sensor <i>offset</i>	m
k_x	Posisi sensor <i>gain</i>	V/MU
x	Posisi bola	m

y_{MU}	A/D converter output	V
k_{AD}	A/D converter gain	MU/V
y_{MU0}	A/D converter offset	MU
F_a	Gaya percepatan	N
F_m	Gaya elektromagnetik	N
F_g	Gaya gravitasi	N
F_d	Gaya peredam	N
Φ_m	Fluks magnet	Wb
\mathcal{R}_i	Reluktansi pada besi	
\mathcal{R}_g	Reluktansi air gap	
μ_r	Permeabilitas baja	T.m/A
V_t	Tegangan listrik	V
R	Hambatan listrik	ohm
m	Masa bola baja	kg
g	Perepatan gravitasi	m/s ²
T_a	Power amplifire time constant	s
k_i	Power amplifire gain	A/V
x_0	Coil offset	m
k	Konstanta magnet	Nm ² /A ²
k_{FV}	Damping constant	N.s/m