



UNIVERSITAS INDONESIA

SISTEM KENDALI POSISI BERBASIS LEVITASI MAGNETIK

SKRIPSI

BAZOKA FRANSISKUS

0906602484

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
DESEMBER 2011



UNIVERSITAS INDONESIA

SISTEM KENDALI POSISI BERBASIS LEVITASI MAGNETIK

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

BAZOKA FRANSISKUS

0906602484

FAKULTAS TEKNIK

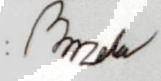
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

DEPOK

DESEMBER 2011

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan benar.


NAMA : Bazoka Fransiskus
NPM : 0906602484
Tanda Tangan : 
Tanggal : 12 Januari 2012


HALAMAN PENGESAHAN


Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Bazoka Fransiskus
NPM : 0906602484
Program studi : Teknik Elektro
Judul skripsi : SISTEM KENDALI POSISI BERBASIS
LEVITASI MAGNETIK

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Wahidin Wahab M.Sc., Ph.D. ()

Penguji : Dr. Abdul Muis S.T., M.Eng ()

Penguji : Ir. Aries Subiantoro M.SEE. ()

Ditetapkan di : DEPOK

Tanggal : 12 Januari 2012

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Tuhan, segala mahluk di langit dan alam semesta yang selalu dengan kebijaksanaan-Nya melimpahkan kasih kepada hamba-Nya sehingga rangkaian tulisan ini dapat terselesaikan. Pembuatan karya ini semata-mata untuk memenuhi syarat seminar pada Program Teknik Elektronika. Seminar ini merancang suatu modul “magnetik levitation system”.

Dalam pelaksanaan dan pembuatan 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. Bapak Ir. Wahidin Wahab M. Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing. Terima kasih atas bimbingan dan arahan yang telah banyak membantu pembuatan karya ini.
2. Keluarga saya yang telah membesarkan saya dengan segala duka dan cita hingga sekarang. Tidak mungkin saya membalas semua yang telah mereka berikan kepada saya. Terima kasih dan doa yang tulus untuk keluarga saya, terutama kepada almarhum bapak “Jacky Rindu”.

Semua pihak yang secara tidak langsung terlibat dalam pembuatan skripsi ini dan tidak mungkin dapat disebutkan satu persatu, semoga amal baik yang telah dilakukan senantiasa dibalas oleh Tuhan yang maha esa.

Akhir kata semoga penyusunan skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang bersangkutan, khususnya bagi saya dan umumnya bagi para pembaca. Saya mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya dan semoga bermanfaat.

Depok, 12 Januari 2012

Bazoka Fransiskus

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Bazoka Fransiskus

NPM : 0906602484

Program Studi : Teknik Elektro

Departemen : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-Exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : **SISTEM KENDALI POSISI BERBASIS LEVITASI MAGNETIK**.

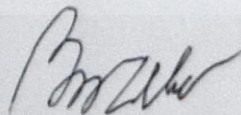
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan membulikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : DEPOK

Pada tanggal : 12 Januari 2012

Yang menyatakan



(Bazoka Fransiskus)

v

v

ABSTRAK

Nama : Bazoka Fransiskus

Program Studi : Teknik Elektro

Judul : SISTEM KENDALI POSISI BERBASIS LEVITASI
MAGNETIK

Telah dibuat suatu alat “Sistem Kendali Posisi Berbasis Levitasi Magnetik”. Pembuatan alat ini menggunakan kumparan sebagai penghasil medan elektromagnet dan sensor *efek hall* UGN3503U digunakan untuk mengetahui posisi dari objek berupa bola baja. Kumparan yang menggunakan tegangan 24 Volt dan arus maksimum 5A. Pengendalian dilakukan dengan menggunakan mikrokontroler dengan interface melalui *PC* menggunakan komunikasi data *serial*. Data yang dikirim adalah *set point*, kuat medan magnet yang akan dikonversi menjadi ketinggian objek. Data yang diterima akan ditampilkan ke layar berupa grafik.

Kata kunci - kumparan, *Efek hall*, mikrokontroler, *serial*, magnetik levitation

ABSTRACT

Name : Bazoka Fransiskus

Study Program : Electro Engineering

Title : MAGNETIC LEVITATION BASED POSITION CONTROL SYSTEM

A tool for “Magnetic Levitation Based Position Control System” has been made. Making this tool uses a kumparan to produce elektromagnetik fields and a efek hall sensor is UGN3503U used to determine the position of the object in the form of steel balls. The kumparan uses a 24 volt voltage and maximum current 5A. Control is done using a microcontroller to interface through a PC using a serial data communications. The data sent is the *set point*, a strong magnetik field to be converted into an object height. The data received will be displayed to the screen in the form of graphs.

Keywords – kumparan, efek hall, microcontroller, serial, magnetik levitation

DAFTAR ISI

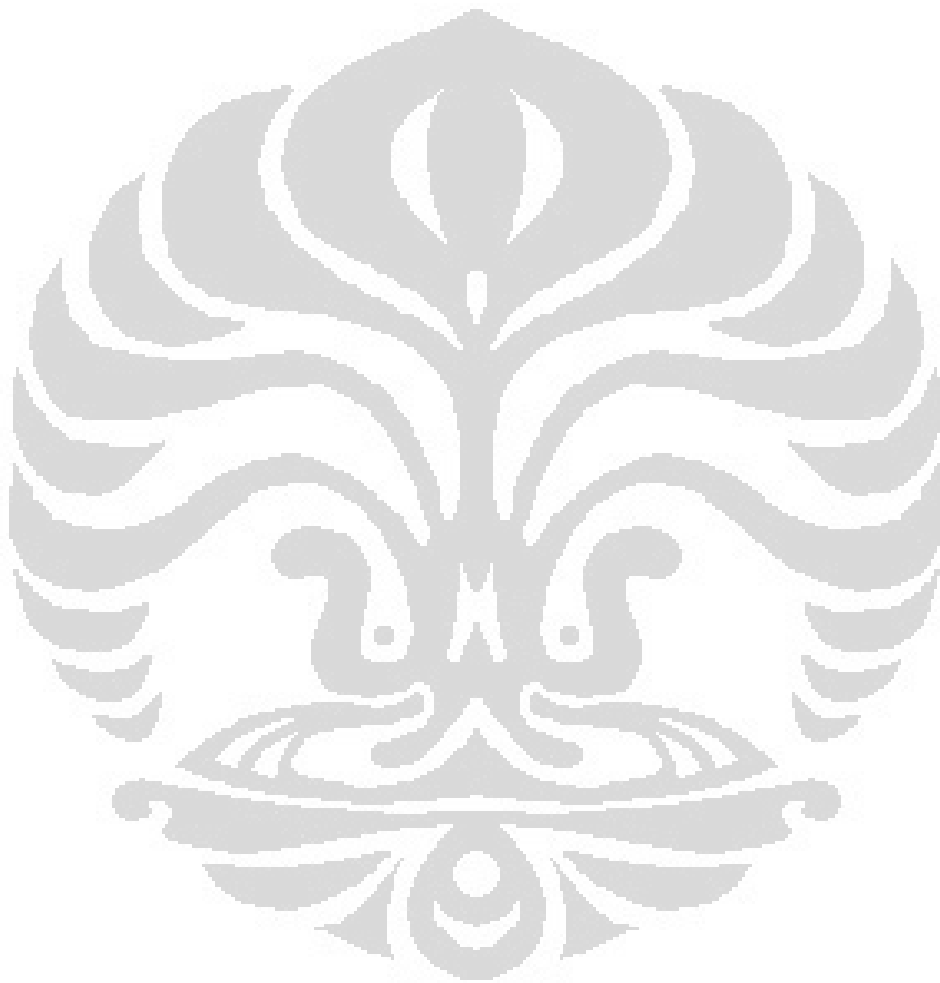
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Tujuan penelitian	1
1.3 Batasan masalah	2
1.4 Deskripsi singkat	2
1.5 Metode penelitian	2
1.6 Sistematika penulisan	3
TEORI DASAR	5
2.1 Magnet.....	5
2.1.1 Medan Magnet	5
2.1.2 Sumber medan magnet.....	6
2.1.2.1 Medan magnet pada kawat lurus	6
2.1.2.2 Medan magnet pada kawat berbentuk <i>loop</i>	7
2.1.2.3 Medan magnet pada magnet berbentuk batang.....	7
2.1.2.4 Medan magnet bumi	7
2.1.2.5 Medan magnet pada kumparan	8
2.2 Gaya magnet akibat kawat berarus listrik	8
2.3 Elektromagnet.....	9
2.4 Gaya magnetik pada kumparan	11
2.5 Sistem pengendalian.....	14
2.5.1 Kendali proporsional.....	15

2.5.2	Kendali integral.....	16
2.5.3	Kendali derivative	17
2.6	Spesifikasi respon transien	18
2.7	<i>Pulse Width Modulation</i> (PWM).....	19
2.8	Sensor efek hall	20
2.9	Komunikasi serial.....	21
2.9.1	Kecepatan transfer data (baud rate).....	22
2.9.2	Protokol komunikasi data.....	22
PERANCANGAN SISTEM <i>MAGNETIK LEVITATION</i>		24
3.1	Deskripsi sistem	25
3.2	Perancangan perangkat keras	26
3.2.1	Kumparan.....	26
3.2.2	Bola baja	26
3.2.3	Sensor posisi	26
3.2.4	Driver kumparan	27
3.3	Perancangan perangkat lunak.....	28
3.3.1	Mikrokontroler	28
3.3.2	LabView	30
PENGUJIAN DAN ANALISIS		32
4.1	Pengujian arus terhadap tinggi bola	32
4.2	Pengujian sensor terhadap posisi.....	33
4.3	Pengujian kendali <i>open loop</i>	34
4.4	Pengujian kendali <i>closed loop</i>	36
KESIMPULAN		40
5.1	Kesimpulan.....	40
5.2	Saran	40
DAFTAR ACUAN		41

DAFTAR GAMBAR

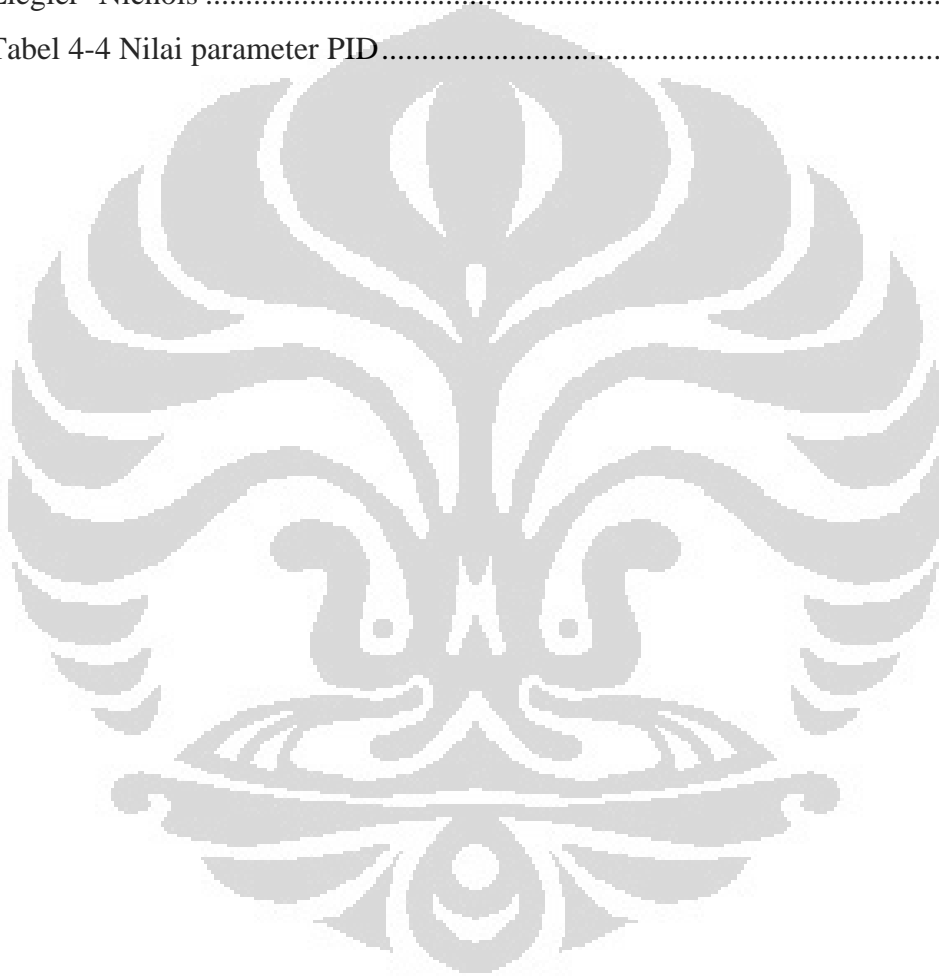
Gambar 2.1 Medan magnet dari partikel yang bergerak ^[7]	5
Gambar 2.2 Garis medan magnet pada kawat lurus ^[9]	6
Gambar 2.3 Medan magnet pada kawat loop ^[8]	7
Gambar 2.4 Medan magnet pada magnet batang ^[8]	7
Gambar 2.5 Medan magnet bumi ^[9]	8
Gambar 2.6 Medan magnet pada kumparan ^[9]	8
Gambar 2.7 Arah gaya magnet berdasarkan aturan tangan kanan ^[7]	9
Gambar 2.8 Medan magnet pada kumparan (kiri) dan batang magnet permanen (kanan) ^[9]	10
Gambar 2.9 Magnet kumparan tanpa inti (kiri) dan magnet kumparan berinti besi (kanan) ^[9]	11
Gambar 2.10 Gaya magnet pada solenoid ^[11]	12
Gambar 2.11 Blok diagram sistem pengendalian <i>open loop</i> ^[6]	14
Gambar 2.12 Blok diagram sistem pengendalian <i>closed loop</i> ^[6]	15
Gambar 2.13 Kendali proporsional ^[2]	16
Gambar 2.14 Kendali integral ^[2]	16
Gambar 2.15 Respon kurva unit step	18
Gambar 2.16 Gelombang PWM ^[4]	20
Gambar 2.17 Cara kerja sensor efek hall ^[12]	20
Gambar 2.18 Pin dari sensor efek hall UGN3503U ^[6]	21
Gambar 3.1 Diagram blok sistem magnetik levitation.....	25
Gambar 3.2 Dimensi kumparan	26
Gambar 3.3 Pengukuran menggunakan sensor effect hall	27
Gambar 3.4 Skematik driver kumparan	28
Gambar 3.5 Flowchart proses kerja mikrokontroler	29
Gambar 3.6 Icon konfigurasi komunikasi serial pada LabView	30
Gambar 3.7 Icon VISA Write	31
Gambar 3.8 Icon VISA Read	31

Gambar 4.1 Grafik arus vs tinggi bola baja	32
Gambar 4.2 Grafik resultan medan magnet vs tinggi bola pada kumparan	33
Gambar 4.3 Grafik <i>open loop process variable</i> kumparan	34
Gambar 4.4 Grafik pengendalian dengan kendali PI dan <i>set point</i> 2 cm	37
Gambar 4.5 Grafik pengendalian dengan kendali PID dan set point 2 cm	38



DAFTAR TABEL

Tabel 4-1 Pengaruh arus terhadap tinggi bola baja.....	32
Tabel 4-2 Resultan medan magnet terhadap tinggi bola baja	33
Tabel 4-3 Persamaan untuk menghitung nilai konstanta PID menggunakan metode Ziegler -Nichols	35
Tabel 4-4 Nilai parameter PID.....	36



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Magnetik levitation (maglev) sekarang ini bukanlah istilah yang asing bagi kebanyakan orang. Alat-alat di dunia industri dan transportasi sudah banyak yang mengaplikasikan teori *magnetik levitation*. Definisi dari *magnetik levitation* sendiri adalah proses pengangkatan sebuah objek terhadap suatu acuan menggunakan medan magnet.

Sistem ini dapat digunakan untuk mengurangi gesekan dan suara bising yang ditimbulkan oleh komponen-komponen yang melakukan kontak secara mekanis. Sehingga energi yang hilang akibat gesekan dapat dikurangi. Beberapa contohnya adalah *magnetik bearing* yang biasa digunakan pada poros turbin pembangkit listrik, dan *magnetik suspension* (dalam penelitian untuk diaplikasikan sebagai piston mesin).

Untuk meneliti dan memahami lebih dalam mengenai teori *maglev* ini dibutuhkan banyak percobaan. Salah satu hal yang sangat menentukan dalam melakukan percobaan tersebut adalah pengendalian terhadap sistem *maglev*. Di dalam penelitian skripsi ini akan dirancang sebuah sistem kendali posisi bola baja dengan ketinggian tertentu menggunakan sistem kendali *loop* tertutup.

1.2 Tujuan penelitian

Tujuan dari penelitian skripsi ini adalah :

1. Merancang dan membuat perangkat keras dan lunak sistem *magnetik levitation*.
2. Merancang dan membuat sistem kendali *magnetik levitation*.
3. Mengendalikan posisi bola baja.

1.3 Batasan masalah

Melihat kompleksitas masalah yang dihadapi dalam perancangan dan pembuatan sistem *magnetik levitation*, maka bola baja hanya akan dikendalikan pada sumbu vertikal, dan menggunakan satu kumparan dengan letak bola baja berada diatas kumparan. Bola baja yang digunakan memiliki medan magnet tetap. Selain itu sensor efek hall digunakan sebagai sensor posisi dengan metode perbandingan. Sistem pengendalian yang akan digunakan adalah sistem pengendalian PID.

1.4 Deskripsi singkat

Dalam perancangan dan pembuatan sistem *maglev* akan dibuat sebuah modul pengendali yang akan dihubungkan dengan sebuah komputer. Modul ini menggunakan mikrokontroler sebagai pengolah sinyal I/O sebelum dikirim ke komputer. Sinyal input dari komputer berupa nilai *duty cycle* PWM, sebagai pengatur arus yang mengalir pada kumparan. Sinyal output berupa sinyal analog (0 sampai 5 volt) yang akan dikonversikan menjadi sinyal digital menggunakan ADC pada mikrokontroler. Seluruh aktivitas pengendalian dilakukan menggunakan program LabView pada komputer.

1.5 Metode penelitian

Metode penelitian yang akan dilakukan terdiri dari beberapa tahap antara lain :

1. Studi literatur

Metode ini digunakan untuk memperoleh informasi yang yang bermanfaat tentang *magnetik levitation* sebagai acuan dalam proses perancangan sistem. Studi literatur ini selain mengacu pada buku pegangan, juga menggunakan referensi tentang data-data dari berbagai macam jurnal, dan data sheet yang berhubungan dengan pembuatan alat.

2. Perancangan dan pembuatan alat

Perancangan alat merupakan tahap awal untuk mencoba memahami, menerapkan, dan menggabungkan semua literatur yang

diperoleh untuk melengkapi sistem serupa yang pernah dibuat, dan selanjutnya dapat direalisasikan sesuai dengan tujuan.

3. Pengujian sistem

Pengujian sistem merupakan proses awal untuk mengetahui karakteristik dari tiap sub-sistem sebelum nantinya seluruh sub-sistem akan digabung menjadi sebuah satu kesatuan sistem *magnetik levitation* yang siap untuk diuji.

4. Pengambilan data

Setelah dilakukan pengujian sistem, maka perlu dilakukan pengambilan data. Data-data ini amat diperlukan untuk melengkapi pembuatan sistem agar sistem bekerja lebih baik.

5. Penulisan laporan

Dari hasil pengambilan data yang telah dilakukan, maka akan dibuat analisis, sehingga diperoleh kesimpulan, dan saran untuk penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika penulisan

Laporan skripsi ini terdiri dari beberapa bab. Untuk mempermudah pemahaman dan pembacaan, berikut ini akan dijabarkan garis besar isi dari setiap bab.

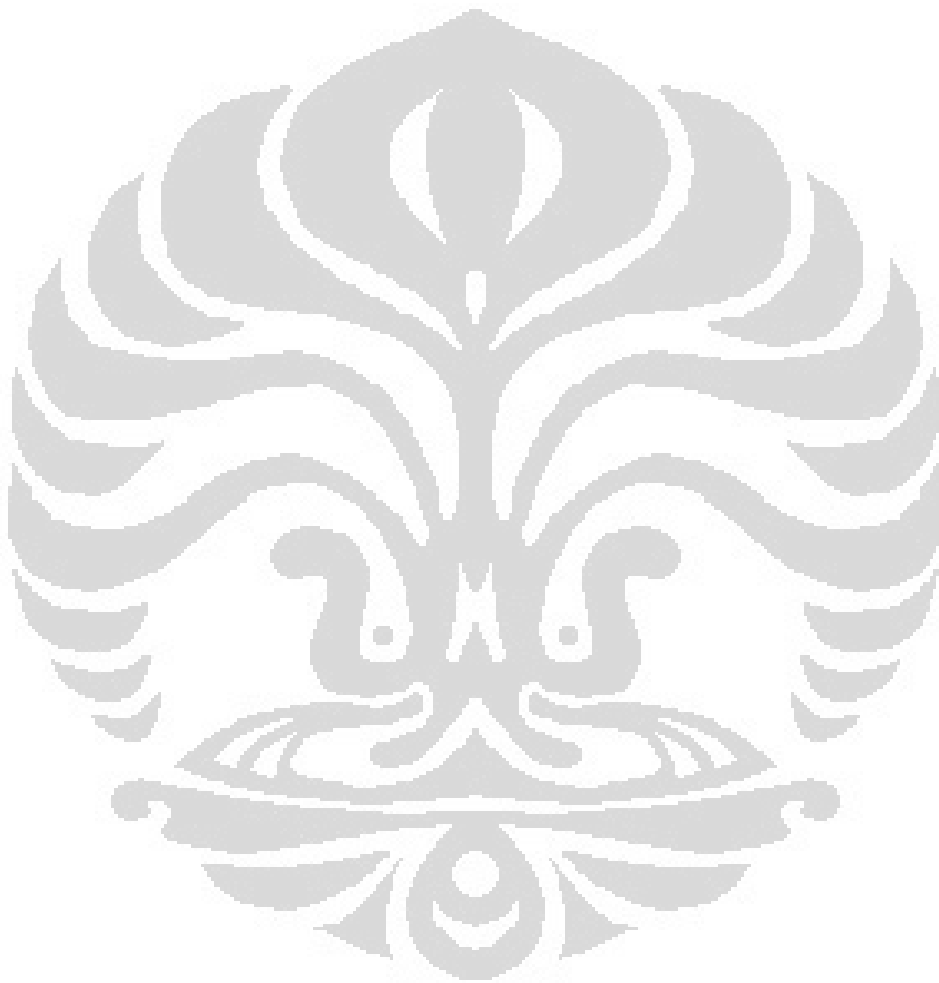
Bab pertama berisi tentang latar belakang, tujuan penulisan, pembatasan masalah, deskripsi singkat, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab dua membahas teori magnet. dilanjutkan dengan pembahasan medan magnet, gaya magnet serta hukum-hukum dan persamaan yang terkait dengan elektromagnet.

Bab tiga akan dijelaskan mengenai perancangan secara keseluruhan sistem kendali baik perangkat keras maupun perangkat lunak yang akan digunakan dalam pengujian.

Bab empat membahas hasil pengujian dari alat yang telah dirancang, pengujian meliputi pengujian perangkat keras dan perangkat lunak yang dilakukan secara simultan. Selain itu pengujian juga dilakukan dengan pengambilan data dan analisis sistem.

Bab lima akan dijabarkan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan beserta saran untuk penelitian selanjutnya.



BAB 2

TEORI DASAR

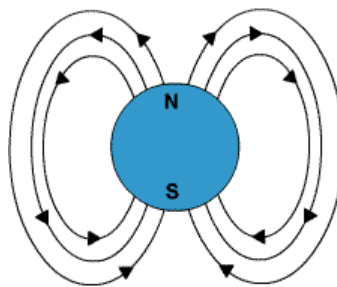
Salah satu bagian terpenting dalam penelitian skripsi ini adalah magnet induksi yang digunakan sebagai actuator pada sistem *Magnetik levitation*. Dalam bab ini akan dibahas mengenai magnet dan teori-teori pendukungnya.

2.1 Magnet

Magnet adalah suatu materi yang mempunyai medan magnet. Materi tersebut bisa berwujud magnet permanen atau magnet *temporer*. Kata magnet sendiri berasal dari bahasa Yunani *magnitis lithos* yang berarti batu *magnesian*. *Magnesia* adalah nama sebuah wilayah di Yunani pada masa lalu yang kini bernama Manisa (sekarang berada di wilayah Turki) dimana terkandung batu magnet yang ditemukan sejak zaman dulu di wilayah tersebut. Magnet memiliki dua kutub yang disebut kutub utara (N) dan kutub selatan (S), dua kutub ini akan saling tarik-menarik jika dua kutub magnet yang berlainan di dekatkan begitupun sebaliknya. (Tipler, 2001, hal. 209)

2.1.1 Medan Magnet

Menurut Ron Kurtus, medan magnet terdiri atas garis-garis flux imajiner yang berasal dari partikel bermuatan listrik yang bergerak. Gambar 2.1 menunjukkan medan magnet yang dihasilkan oleh partikel elektron pada sebuah kawat yang dialiri listrik.



Gambar 2.1 Medan magnet dari partikel yang bergerak⁽⁷⁾

Secara garis besar ada dua jenis magnet berdasarkan bagaimana medan magnetnya tercipta, yaitu:

- Magnet permanen

Magnet permanen dihasilkan oleh alam atau dapat dibuat dari bahan ferromagnetik (bahan yang memiliki respon yang kuat terhadap medan magnet).

- Elektromagnet

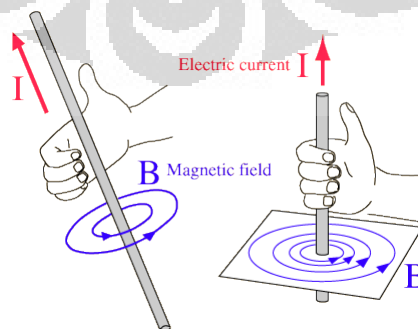
Elektromagnet tercipta karena adanya arus listrik yang mengalir melalui bahan pengantar. Semakin besar arus listrik yang diberikan, semakin besar pula medan magnet yang dihasilkan.

2.1.2 Sumber medan magnet

Sumber medan magnet paling awal adalah medan magnet permanen yaitu berasal dari batuan mengandung sifat magnet. Selain dari magnet permanen terdapat pula sumber medan magnet yang berasal dari elektromagnet diantaranya akan dijelaskan sebagai berikut:

2.1.2.1 Medan magnet pada kawat lurus

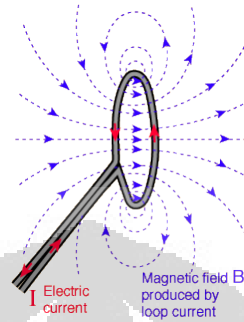
Kawat panjang yang dialiri arus akan menghasilkan medan magnet berbentuk lingkaran di sekitar kawat. Arah medan magnet yang dihasilkan tegak lurus terhadap kawat dan searah dengan jari-jari pada tangan kanan yang ditekuk, dan arah arusnya sesuai dengan arah ibu jari.



Gambar 2.2 Garis medan magnet pada kawat lurus^[9]

2.1.2.2 Medan magnet pada kawat berbentuk *loop*

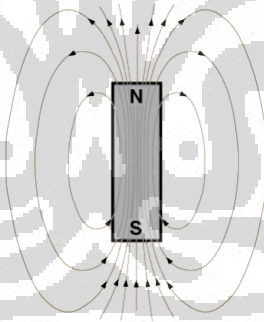
Arus listrik yang mengalir pada kawat berbentuk *loop* menghasilkan medan magnet lebih terpusat pada bagian inti dibandingkan dengan bagian luar *loop*. [9]



Gambar 2.3 Medan magnet pada kawat loop^[8]

2.1.2.3 Medan magnet pada magnet berbentuk batang

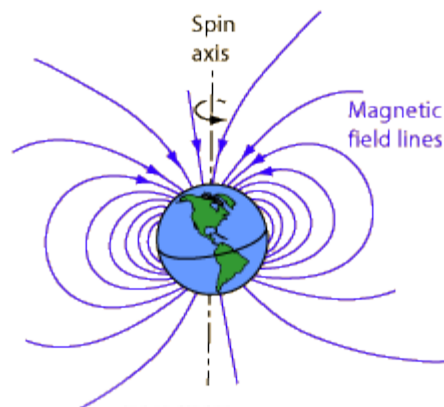
Medan magnet pada magnet batang membentuk garis gaya tertutup. Melalui hasil konvensi ditetapkan arah medan magnet keluar dari kutub utara menuju kutub selatan. [9]



Gambar 2.4 Medan magnet pada magnet batang^[8]

2.1.2.4 Medan magnet bumi

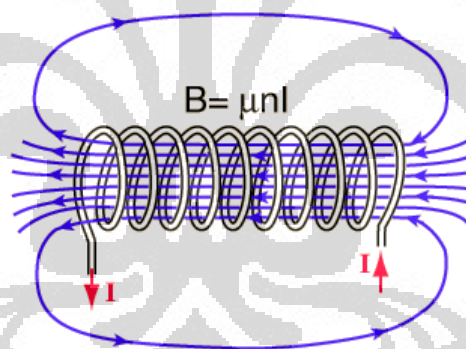
Bumi juga memiliki medan magnet. Medan magnet tersebut berasal dari arus listrik yang beredar pada besi cair inti bumi. Arah medan magnetnya serupa dengan arah medan magnet pada kawat berbentuk *loop*. [9]



Gambar 2.5 Medan magnet bumi^[9]

2.1.2.5 Medan magnet pada kumparan

Kumparan terdiri dari kawat *multiloop* yang biasanya dililitkan pada inti besi, agar medan magnet yang dihasilkan lebih besar. Medan magnet yang seragam dihasilkan pada pusat kumparan, sedangkan pada luar kumparan lebih lemah dan bersifat divergen (menyebar). [9]



Gambar 2.6 Medan magnet pada kumparan^[9]

2.2 Gaya magnet akibat kawat berarus listrik

Arus listrik yang melewati sebuah kawat dapat dilihat sebagai muatan yang bergerak. Dengan demikian, jika kawat tersebut berada dalam pengaruh medan magnet, maka kawat berarus listrik pun mengalami gaya magnetik seperti halnya muatan bergerak. Tiap muatan pada kawat mengalami gaya Lorentz, sehingga gaya magnetik pada kawat berarus adalah:

$$F = B \cdot I \cdot L \cdot \sin \theta \quad (2-1)$$

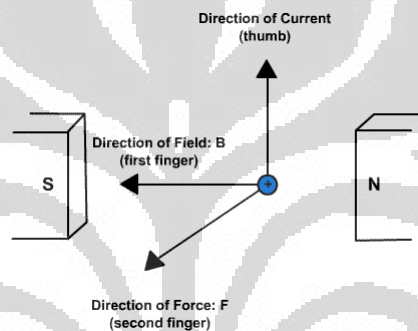
F = gaya magnet (newton)

B = medan magnet (tesla)

I = kuat arus (ampere)

L = panjang kawat (meter)

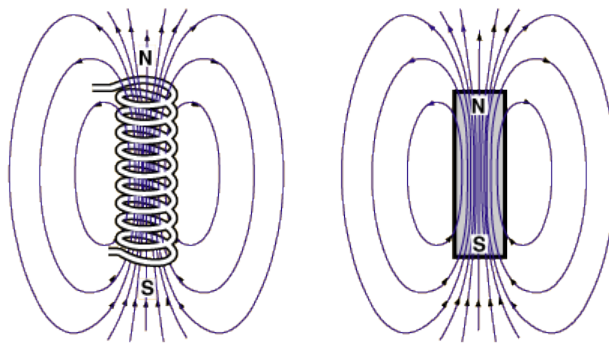
Dengan θ adalah sudut antara medan magnet terhadap garis normal pada lilitan. Arah gaya magnet tersebut mengikuti aturan tangan kanan. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.[14]



Gambar 2.7 Arah gaya magnet berdasarkan aturan tangan kanan^[7]

2.3 Elektromagnet

Sub-bab ini akan menjelaskan mengenai magnet yang akan digunakan dalam penelitian skripsi ini. Elektromagnet didefinisikan sebagai prinsip pembangkitan medan magnet menggunakan arus listrik. Aktuator yang digunakan pada *magnetik levitation system* berupa magnet kumparan. Kumparan sendiri adalah sekumpulan kawat yang digulung menjadi heliks lilitan rapat. Bila dibandingkan Gambar 2.4 dan Gambar 2.6 dapat dilihat bahwa garis-garis medan kumparan ini, baik yang di dalam maupun diluar, serupa dengan garis-garis medan magnet batang. Seperti terlihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Medan magnet pada kumparan (kiri) dan batang magnet permanen (kanan)^[9]

Medan magnet pada kumparan dengan panjang L yang terdiri atas N lilitan kawat yang dialiri arus I adalah:

$$BL = \mu_0 NI \quad (2-2)$$

Bila $n = N/L$ maka:

$$B = \mu_0 nI \quad (2-3)$$

Dengan B = kerapatan fluks medan magnet (tesla)

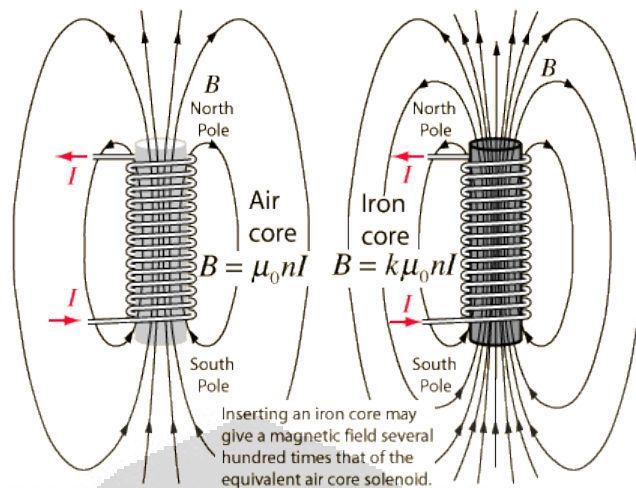
N = jumlah lilitan

L = panjang lilitan (meter)

I = kuat arus (ampere)

μ_0 = permeabilitas ruang = $4 \cdot 10^{-7} Tm/A$

Untuk meningkatkan medan magnet dari kumparan dapat ditambahkan inti pada bagian tengah kumparan, dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Magnet kumparan tanpa inti (kiri) dan magnet kumparan berinti besi (kanan)^[9]

Sehingga medan magnet pada kumparan berinti menjadi:

$$B = k\mu_0 nI \quad (2-4)$$

Dengan k adalah permeabilitas relatif inti berbahan baja, nilai $k = 5600 \cdot 10^{-6} T \cdot m/A$.

Medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan dipengaruhi oleh:

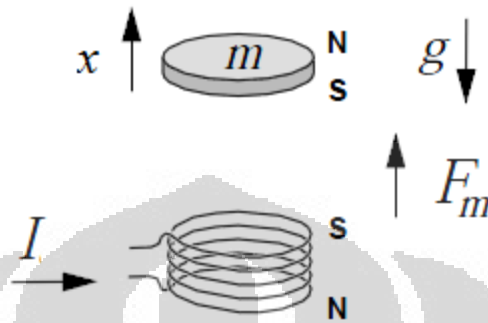
1. Induktansi elektromagnet.
2. Arus dalam kawat lilitan.
3. Geometri elektromagnet.
4. Inti elektromagnet.

2.4 Gaya magnetik pada kumparan

Gaya magnet yang dialami oleh bola baja dipengaruhi oleh :

1. Bentuk, sebaran dan kerapatan medan magnet yang dihasilkan oleh elektromagnet.
2. Letak bola baja dalam medan magnet.
3. Sifat magnetis dari bahan bola baja.
4. Geometri bola baja.

Gaya magnet pada kumparan tidak hanya dipengaruhi oleh besar arus yang mengalir pada kumparan tersebut, tetapi juga dipengaruhi oleh jarak benda (x) yang diangkat dengan kumparan tersebut.[11]



Gambar 2.10 Gaya magnet pada solenoid^[11]

Berdasarkan Gambar 2.10 maka persamaan mekanik yang didapat adalah :

$$m\ddot{x} = F_m - mg \quad (2-5)$$

Dengan :

m = massa bola baja (gram)

\ddot{x} = turunan kedua dari jarak bola baja terhadap kumparan (m/s^2)

g = kecepatan gravitasi (m/s^2)

F_m = gaya magnetik (N)

Pada kondisi *equilibrium*

$$mg = F_m \quad (2-6)$$

Gaya magnetik dapat dicari dengan menurunkan persamaan energy magnetik.

$$W = F_m \cdot x \quad (2-7)$$

$$F_m = \frac{dW}{dx} \quad (2-8)$$

$$W = \frac{1}{2} i^2 L_{(m)} \quad (2-9)$$

Dimana :

W = energi magnetik (joule)

$L_{(m)}$ = induktansi diri solenoid (Henry)

Nilai induktansi diri didapat dari:

$$L_m = \frac{\phi_m}{i} \quad (2-10)$$

$$L_m = \frac{N \cdot B \cdot A}{i}$$

$$L_m = \frac{n \cdot l \cdot B \cdot A}{i}; B = \mu_0 \cdot \mu_k \cdot n \cdot i$$

$$L_m = \frac{n^2 \cdot l \cdot \mu_0 \cdot \mu_k \cdot i \cdot A}{i}$$

$$L_m = n^2 \cdot l \cdot \mu_0 \cdot \mu_k \cdot A \quad (2-11)$$

Dengan :

ϕ_m = fluks magnetik (weber)

N = jumlah lilitan

B = kuat medan magnetik (gauss)

l = panjang kawat (meter)

μ_0 = permeabilitas udara ($4\pi \cdot 10^{-7} T \cdot m/A$)

μ_k = permeabilitas inti besi ($5600 \cdot 10^{-6} T \cdot m/A$)

n = jumlah lilitan per panjang kawat

Sehingga gaya magnetik yang dihasilkan kumparan menjadi:

$$F_m = \frac{dW}{dx}$$

$$F_m = \frac{d(\frac{1}{2}i^2 L_{(m)})}{dx}$$

$$F_m = \frac{d(\frac{1}{2}i^2 \cdot n^2 \cdot l \cdot \mu_0 \cdot \mu_k \cdot A)}{dx}$$

$(\frac{1}{2} \cdot n^2 \cdot l \cdot \mu_0 \cdot \mu_k \cdot A)$ adalah konstan sehingga dapat ditulis menjadi C

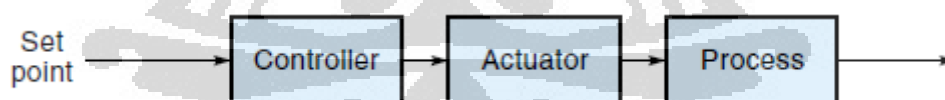
Sehingga gaya magnetik dapat dicari dengan persamaan :

$$F_m = C \left(\frac{i^2}{x^2} \right) \quad (2-12)$$

2.5 Sistem pengendalian

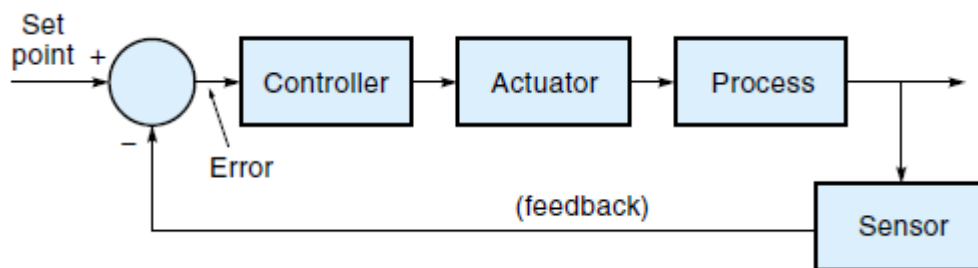
Sistem kendali adalah kumpulan dari komponen yang bekerja sama dibawah arahan sebuah perintah. Pengendalian proses secara luas digunakan di industri. Pengendalian dengan program seperti pada penelitian ini dikendalikan sesuai dengan instruksi yang telah diprogram terlebih dahulu. Sistem pengendalian proses terbagi menjadi 2, yaitu sistem pengendalian *open loop*, dan *closed loop*. [6]

Sistem pengendalian *open loop* seperti Gambar 2.11 Adalah suatu sistem yang keluarannya tidak mempunyai pengaruh terhadap aksi kendali. Dengan kata lain, sistem kendali *open loop* keluarannya tidak dapat digunakan sebagai perbandingan *feedback* dengan input. Dalam sistem kendali *open loop*, keluarannya tidak dapat dibandingkan dengan input. Jadi setiap masukan acuan berhubungan dengan kondisi operasi pada saat pengoperasian sistem, akibatnya kemampuan sistem beroperasi ditentukan oleh kalibrasi. Sistem kendali *open loop* dapat digunakan, hanya jika hubungan antara masukan dan keluaran diketahui dan tidak terdapat gangguan internal maupun eksternal.



Gambar 2.11 Blok diagram sistem pengendalian *open loop* [6]

Sistem pengendalian *closed loop*, *process variable* terus dipantau oleh sensor seperti Gambar 2.12. Sensor akan mengirim sinyal output ke kontroler, sehingga kontroler akan melakukan penyesuaian untuk menjaga sinyal keluaran sama dengan *set point*.

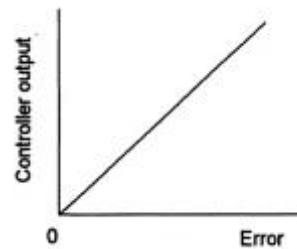


Gambar 2.12 Blok diagram sistem pengendalian *closed loop*^[6]

Keberadaan pengendali dalam sebuah sistem kendali mempunyai kontribusi yang besar terhadap perilaku sistem. Pada prinsipnya hal itu disebabkan oleh tidak dapat diubahnya komponen penyusun sistem tersebut. Artinya, karakteristik *plant* harus diterima sebagaimana adanya, sehingga perubahan perilaku sistem hanya dapat dilakukan melalui penambahan suatu sub sistem, yaitu pengendali. Salah satu tugas pengendali adalah mereduksi sinyal kesalahan, yaitu perbedaan antara sinyal seting dan sinyal aktual. Hal ini sesuai dengan tujuan sistem kendali yaitu mendapatkan sinyal aktual senantiasa sama dengan sinyal seting. Semakin cepat reaksi sistem mengikuti sinyal seting dan semakin kecil kesalahan yang terjadi, semakin baiklah kinerja sistem kendali yang diterapkan. Apabila perbedaan antara nilai seting dengan nilai keluaran relatif besar, maka pengendali yang baik seharusnya mampu mengamati perbedaan ini untuk segera menghasilkan sinyal keluaran untuk mempengaruhi *plant*. Dengan demikian sistem secara cepat mengubah keluaran *plant* sampai diperoleh selisih antara seting dengan besaran yang diatur sekecil mungkin. Oleh karena itu PID (Proportional Integral *Derivative*) difungsikan untuk perhitungan nilai *error* dari suatu alat.

2.5.1 Kendali proporsional

Dengan kendali proporsional, besarnya keluaran kontroler adalah proporsional terhadap besarnya *error* yang terjadi (Gambar 2.13 Kendali proporsional, yang merupakan input kontroler.



Gambar 2.13 Kendali proporsional^[2]

Relasi ini dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut :

$$\text{output controller } K = K_p \times \text{input controller}$$

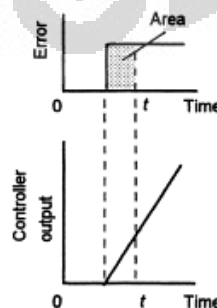
Dimana K_p adalah konstanta yang disebut konstanta proporsional. Ini berarti bahwa elemen koreksi sistem kendali akan memiliki masukan berupa sebuah sinyal yang berbanding lurus terhadap besarnya koreksi yang diperlukan.

2.5.2 Kendali integral

Kendali integral merupakan mode kendali dimana output kontroler berbanding lurus dengan integral *error* terhadap waktu. Sehingga dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut :

$$\text{output controller } I = K_i \times \text{integral error terhadap waktu}$$

Dimana K_i adalah konstanta integral. Apabila output kontroler dinyatakan sebagai persentase *error* juga dinyatakan dalam persen, maka satuan dari konstanta integral ini adalah s^{-1} (1/detik). Menunjukkan integral *error* terhadap waktu.



Gambar 2.14 Kendali integral^[2]

Nilai dari integral pada waktu t adalah sama dengan luas di bawah kurva antara $t = 0$ dan t .

Jadi dengan bertambahnya t , maka luas area di bawah kurva akan semakin besar dan output kontroler juga semakin besar. Karena dalam contoh ini luas area berbanding lurus dengan t , maka output kontroler juga berbanding lurus dengan t dan bertambah dengan laju yang konstan.

2.5.3 Kendali derivative

Dengan kendali *derivative*, perubahan output kontroler dari titik pengaturan akan berbanding lurus dengan laju perubahan terhadap waktu dari sinyal *error*. Jadi output kontroler dirumuskan sebagai :

$$\text{output controller } D = K_d \times \text{laju perubahan error}$$

Output kontroler biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase terhadap jangkauan penuh keluaran, dan *error* juga dinyatakan sebagai persentase terhadap jangkauan penuh. K_d adalah konstanta *derivative* dengan satuan waktu.

Jenis respon yang akan muncul apabila terdapat sinyal *error* yang terus meningkat. Karena laju perubahan *error* terhadap waktu adalah konstan, maka kontroler *derivative* akan memberikan sinyal output kontroler yang konstan pada elemen koreksi. Dengan kendali *derivative*, segera setelah sinyal *error* mulai berubah, maka akan muncul output kontroler yang cukup besar, mengingat keluarannya berbanding lurus dengan laju perubahan sinyal *error*, dan bukan nilai sinyal *error*-nya. Jadi dengan bentuk kendali ini akan diperoleh respon korektif yang cepat terhadap sinyal *error* yang terjadi.

Dengan menggunakan kombinasi proporsional, integral, dan *derivative* didapat persamaan matematis sebagai berikut :

$$\text{Output PID} = K_p \left[e + \frac{1}{T_i} \int e dt + T_d \frac{de}{dt} \right] \quad (2-13)$$

Dimana :

Output PID = keluaran dari PID kontroler

K_p = proportional kendali gain

e = *error* (selisih SP dan PV)

T_i = integral kendali gain

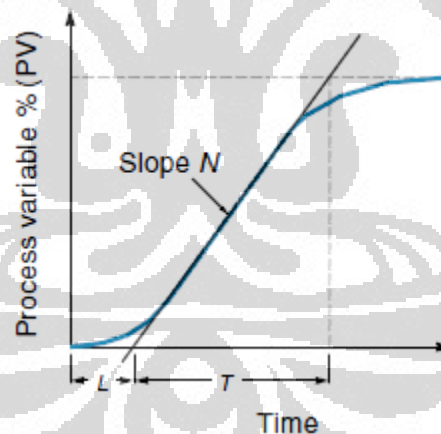
T_d = *derivative* kendali gain

$\int edt$ = jumlah *error*

$\frac{de}{dt}$ = perubahan *error* dibagi perubahan waktu

2.6 Spesifikasi respon transien

Pada sistem kendali respon transien, seringkali sistem mengalami osilasi teredam sebelum keadaan steady state tercapai. Dalam karakteristik respon transien sistem kendali terhadap unit step, terdapat beberapa spesifikasi, berikut adalah gambar kurva respon dan penjelasannya :



Gambar 2.15 Respon kurva unit step

1. *Lag time*, L

Lag time adalah waktu antara output kontroler dan respon sistem.

2. *Rise time*, t_r

Rise time adalah waktu yang dibutuhkan respon untuk naik dari 10% ke 90%, 5% ke 95% dari nilai akhir.

3. *Maximum overshoot*, M_p

Maximum overshoot adalah nilai puncak overshoot maksimum kurva respon dalam bentuk persen.

$$M_p = \frac{x_{maksimum} - x_{steady\ state}}{x_{steady\ state}} \times 100\% \quad (2-14)$$

Dengan :

$$M_p = \text{maksimum overshoot (\%)}$$

2.7 *Pulse Width Modulation (PWM)*

Pulse width modulation (PWM) adalah sebuah metode yang digunakan untuk mengkondisikan sinyal keluaran atau hasil proses dari sebuah kontroler dalam bentuk kondisi *on-off*. Lebar pulsa *on* dan *off* bergantung pada sinyal sistem pengendali, jika respon yang dihasilkan *plant* jauh lebih kecil dari *setpoint*, dapat dipastikan PWM akan menghasilkan sinyal *on* lebih lebar daripada sinyal *off*, begitupun sebaliknya.

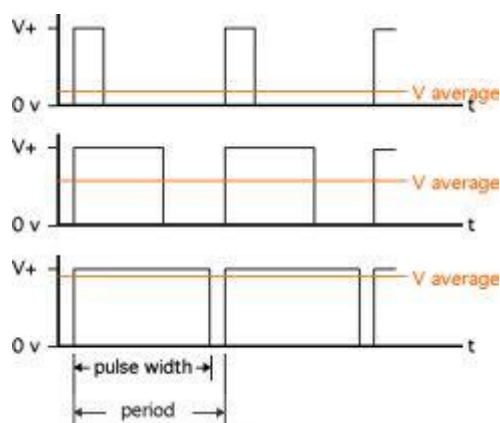
Duty cycle didefinisikan sebagai :

$$\text{duty cycle} = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \quad (2-15)$$

T_{on} = waktu aktif atau *on* (detik atau %)

T_{off} = waktu pasif atau *off* (detik atau %)

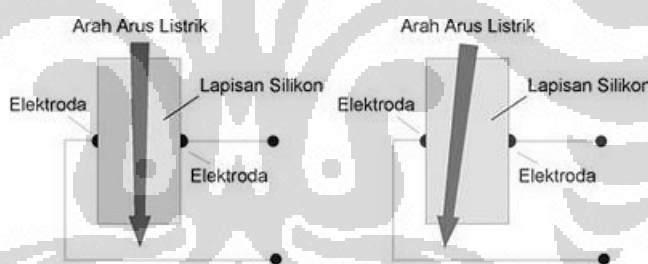
Pada umumnya metode ini bekerja dengan baik pada range *duty cycle* 5-95%. Jika sinyal referensi mencapai 100% atau jatuh hingga 0%, dapat menyebabkan sinyal PWM selalu *on* atau *off* terus menerus, hal ini dinamakan overmodulasi.



Gambar 2.16 Gelombang PWM^[4]

2.8 Sensor efek hall

Sensor efek hall merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi medan magnet. Sensor tersebut akan menghasilkan tegangan yang proporsional dengan kekuatan medan magnet yang diterima oleh sensor tersebut. Sensor ini terdiri dari sebuah lapisan silikon yang berfungsi untuk mengalirkan arus listrik dan dua buah elektroda pada masing-masing sisi silikon.



Gambar 2.17 Cara kerja sensor efek hall^[12]

Hal ini akan menghasilkan perbedaan tegangan pada outputnya ketika lapisan silikon ini dialiri oleh arus listrik. Tanpa adanya pengaruh dari medan magnet maka arus yang mengalir pada silikon tersebut akan tepat ditengah-tengah silikon dan menghasilkan tegangan yang sama antara elektroda sebelah kiri dan kanan sehingga menghasilkan tegangan 0 volt.

Semakin besar kekuatan medan magnet yang mempengaruhi sensor ini akan menyebabkan pembelokan arus di dalam lapisan silikon ini akan semakin besar dan semakin besar pula ketidakseimbangan tegangan antara kedua sisi

lapisan silikon pada sensor. Semakin besar ketidakseimbangan tegangan ini akan menghasilkan beda tegangan yang semakin besar pada output sensor ini.

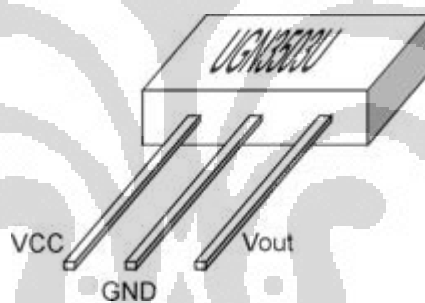
Sensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor UGN3503U. Sensor ini akan menghasilkan tegangan yang proporsional dengan kekuatan medan magnet yang dideteksi oleh sensor ini. Selain itu komponen ini dipilih karena relatif murah, mudah digunakan, dan mempunyai performa yang cukup baik.

Sensor UGN3503U ini mempunyai 3 pin antara lain :

Pin 1 : VCC, tegangan suplai

Pin 2 : GND, ground

Pin 3 : Vout, tegangan output



Gambar 2.18 Pin dari sensor efek hall UGN3503U^[6]

Di dalam sensor ini sudah dibangun sebuah penguat yang memperkuat sinyal dari rangkaian sensor. Pada sensor ini jika mendapat pengaruh medan magnet dengan polaritas kutub utara maka akan menghasilkan pengurangan pada tegangan outputnya, sebaliknya jika terdapat pengaruh medan magnet dengan polaritas kutub selatan maka akan menghasilkan peningkatan tegangan pada outputnya. Sensor ini dapat merespon perubahan kekuatan medan magnet baik yang statis maupun yang dinamis dengan frekuensi hingga 20kHz.[12]

2.9 Komunikasi serial

Pada prinsipnya, komunikasi serial ialah komunikasi dimana pengiriman data dilakukan per bit, sehingga lebih lambat dibandingkan komunikasi paralel.

Pada komunikasi serial terdapat 2 mode, yaitu mode asinkron, dan sinkron. Perbedaannya terletak pada sinyal *clock* yang mensinkronkan komunikasi data. Untuk mensinkronkan digunakan *protocol* dan kecepatan transfer yang biasa dikenal dengan *baud rate* dengan satuan *bit per second*.

2.9.1 Kecepatan transfer data (baud rate)

Beberapa perangkat telah memiliki *baud rate* standar yang tetap sehingga tidak dapat diubah-ubah. Contohnya adalah komputer, komputer memiliki nilai-nilai *baud rate* tertentu sehingga mikrokontroler sebagai perangkat yang fleksibel mengikuti nilai *baud rate* yang dimiliki komputer. Beberapa nilai standar *baud rate* antara lain: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, dan seterusnya. Jika menggunakan *baud rate* 9600 maka untuk mengirim 1 bit membutuhkan waktu $1/9600$ detik.

2.9.2 Protokol komunikasi data

Komunikasi asinkron antar perangkat harus memiliki *protocol* yang sama antar perangkat, apabila *protocol*-nya berbeda maka akan terjadi kesalahan komunikasi data.

Protocol komunikasi data serial antara lain :

1. *Start bit* selalu bernilai 0 : ketika komunikasi UART akan diberikan, terlebih dahulu dimulai dengan pemberian *start bit*. Fungsinya sebagai tanda kepada penerima bahwa akan ada data yang diberikan oleh pemancar, dan juga akan memicu *clock* pada receiver sehingga disinkronkan dengan *clock* pada *transmitter*. *Clock* penerima dan pemancar haruslah akurat dengan toleransi 10% sehingga tidak terjadi kesalahan data.
2. *Data bit* : adalah data yang akan dikirimkan secara UART dimulai dari LSB hingga MSB. Banyaknya data bit antara pemancar dan penerima haruslah sama, biasanya bernilai 7,8, atau 9 data bit.
3. *Parity* : berfungsi sebagai pengecekan *error* data yang ditransfer. *Parity* bisa bernilai *odd*(ganjil), *even*(genap), dan *none*. Selain itu pemancar dan penerima harus menggunakan *parity* yang sama. Jika *odd parity* maka

jumlah total nilai 1 pada data *bit + parity* berjumlah ganjil, contoh *odd*, jika *data bit* 00110101 maka *parity* bernilai 1. Sedangkan jika even *parity* maka jumlah total nilai 1 pada data *bit + parity* berjumlah genap. Contoh *even*, jika data bit 00110101 maka *parity* bernilai 0.

4. *Stop bit* selalu bernilai 1 : berfungsi sebagai akhir dari komunikasi data dan kemudian masuk pada *idle state*. Pengiriman data selanjutnya dapat dilakukan setelah *stop bit* diberikan.
5. *Idle state* : adalah kondisi tidak terjadinya komunikasi data dan jalur data berlogika 1 secara terus menerus (*marking*).[10]



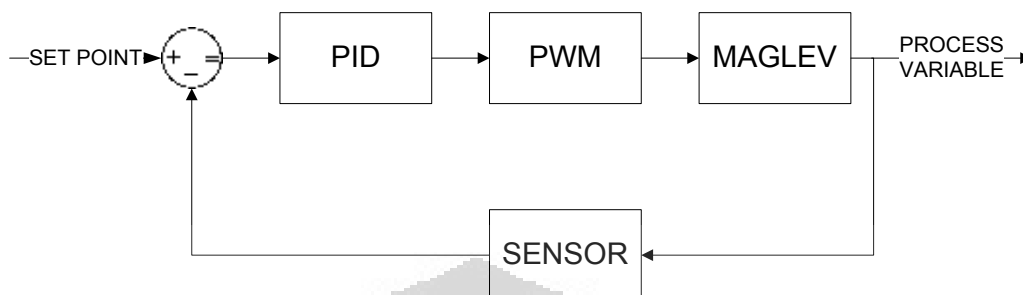
BAB 3

PERANCANGAN SISTEM *MAGNETIK LEVITATION*

Dalam bab ini akan dibahas mengenai perancangan sistem yang mencakup perangkat keras dan lunak beserta cara kerja dari masing-masing perangkat. Dibutuhkan pengetahuan dasar tentang elektromagnetik, elektronika dan kendali agar perangkat yang akan dibuat dapat bekerja secara baik, cepat, dan handal. Kumparan akan diberi tegangan untuk menghasilkan medan magnet, medan magnet tersebut harus mampu menopang bola baja. hal tersebut dapat diatasi dengan memberikan sistem pengendali yang akan mengubah-ubah sinyal tegangan pada kumparan. Besarnya sinyal tegangan tersebut bergantung pada jarak bola yang diinginkan. Ketinggian bola dapat diatur dengan memberikan tegangan yang lebih tinggi atau digunakan sebuah sistem PWM yang akan memberikan sinyal *on-off*. Frekuensi sinyal PWM yang sangat cepat membuat bola seakan-akan bekerja dengan tegangan tertentu. Dimisalkan kumparan diberi tegangan 12 volt, dalam bentuk PWM dengan *duty cycle* 50%, maka bola tidak akan bergerak naik-turun mengikuti gerakan gelombang kotak dari PWM, akan tetapi bola akan tampak diam seakan-akan kumparan menerima sumber tegangan 6 volt. Penggunaan metode PWM ini juga dinilai efisien terhadap besarnya daya yang dipakai bila dibandingkan dengan sinyal analog, dimana pada sinyal analog tegangan yang diperlukan akan dikonversi menjadi panas pada transistor, serta penggunaan daya yang konstan, sehingga dinilai tidak efisien.

3.1 Deskripsi sistem

Diagram blok dari sistem yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 3.1



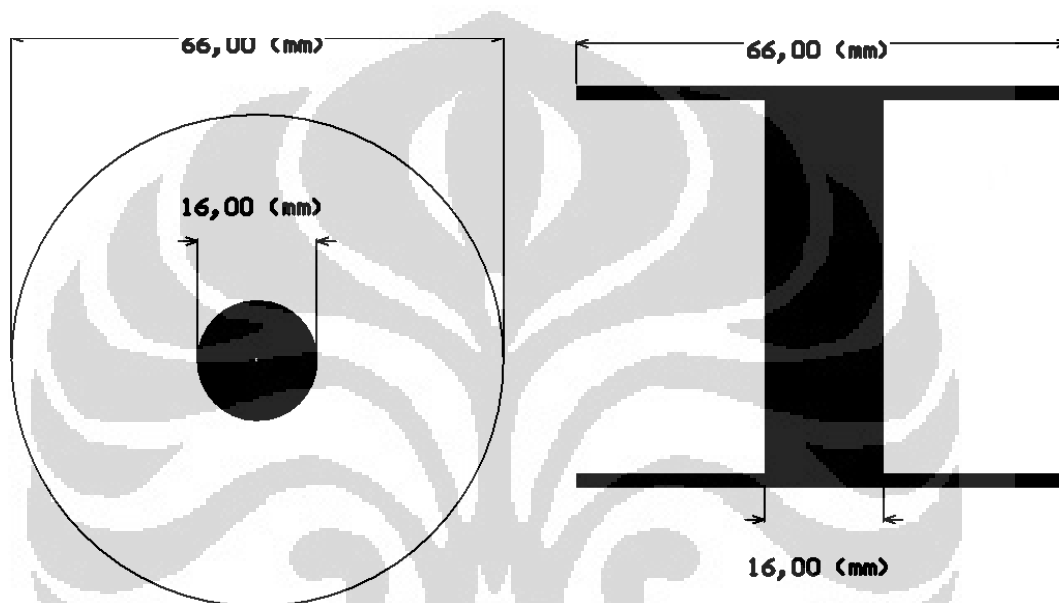
Gambar 3.1 Diagram blok sistem magnetik levitation

Pada skripsi ini, setpoint berupa jarak bola yang diinginkan. Kemudian terjadi perbandingan antara *set point* dan *process variable*, proses ini disebut *error*. Deviasi antara setpoint dan *process variable* diubah dalam bentuk persen *error* yang akan dimasukkan ke dalam persamaan PID. Keluaran PID yang sudah dalam bentuk persen digunakan sebagai sinyal *duty cycle* pada PWM. Semakin besar persen *error* yang terjadi, semakin besar *duty cycle* yang dihasilkan. Seluruh perintah akan dijalankan dari sebuah PC dengan *interface* program LabView. Kemudian perintah tersebut dikirim ke sebuah mikrokontroler untuk selanjutnya dieksekusi berupa sinyal PWM dan pembacaan data ADC. Sensor efek hall digunakan sebagai sensor posisi dari bola baja yang akan dikendalikan ketinggiannya.

3.2 Perancangan perangkat keras

3.2.1 Kumparan

Kumparan akan dibentuk dengan menggunakan kawat tembaga berdiameter 0,65 mm dengan jumlah lilitan 2400 lilitan. Kawat tersebut akan dililitkan pada sebuah inti besi dengan panjang 50 mm, dan tebal 16 mm. Untuk menahan bentuk kumparan agar tidak bergerak dipasang akrilik setebal 2 mm di kedua ujungnya. Dimensi kumparan ini dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Dimensi kumparan

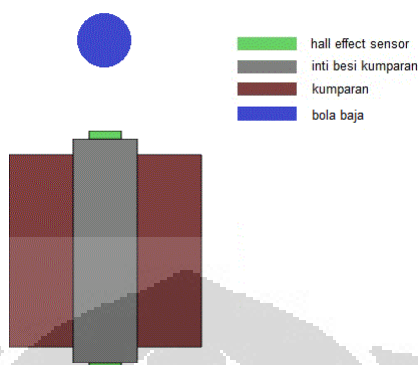
3.2.2 Bola baja

Objek yang akan dikendalikan ketinggiannya oleh kumparan adalah bola baja yang memiliki medan magnet dengan total 1200 gauss. Pada penelitian ini digunakan 3 bola baja identik dengan berat total 15 gram, tiap bola baja memiliki berat 5 gram dengan diameter 6,35 mm.

3.2.3 Sensor posisi

Jenis sensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor efek hall. Sensor dipasang pada kedua ujung kumparan. Prinsip dasar pengukuran adalah menghitung resultan medan yang dihasilkan kumparan terhadap bola baja, untuk nantinya dibandingkan dengan ketinggian bola baja. Ilustrasi pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3.3. Metode pengukuran ini dipilih berdasarkan beberapa

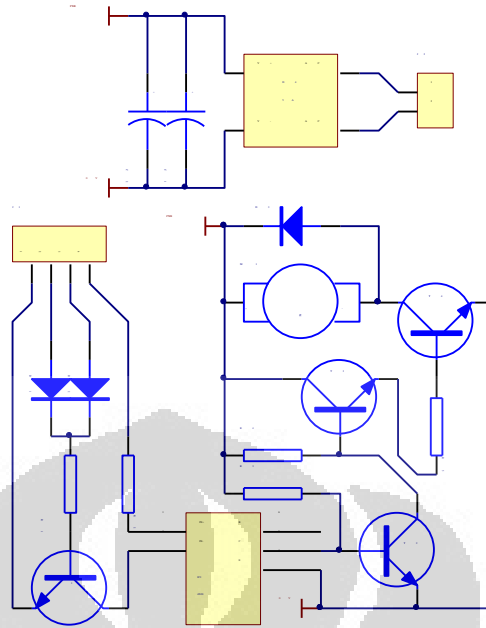
aspek, yaitu: harga sensor yang relatif murah, pengukuran yang didapat cukup presisi, pemasangan mudah.



Gambar 3.3 Pengukuran menggunakan sensor effect hall

3.2.4 Driver kumparan

Untuk mengendalikan arus yang akan melewati kumparan digunakan sebuah *driver*. Driver tersebut menggunakan prinsip kerja PWM (*Pulse Width Modulation*) untuk mengatur arus rata-rata yang akan dilewatkan pada kumparan. Driver ini mampu melewatkan arus dengan beban terpasang hingga 5 A. Untuk menghindari terjadinya *short circuit* antara mikrokontroler dengan rangkaian driver kumparan, maka digunakan optocoupler. Selain itu pada output driver dipasang diode agar tidak terjadi arus balik terhadap driver. Gambar 3.4 menunjukkan rangkaian skematik dari driver kumparan.

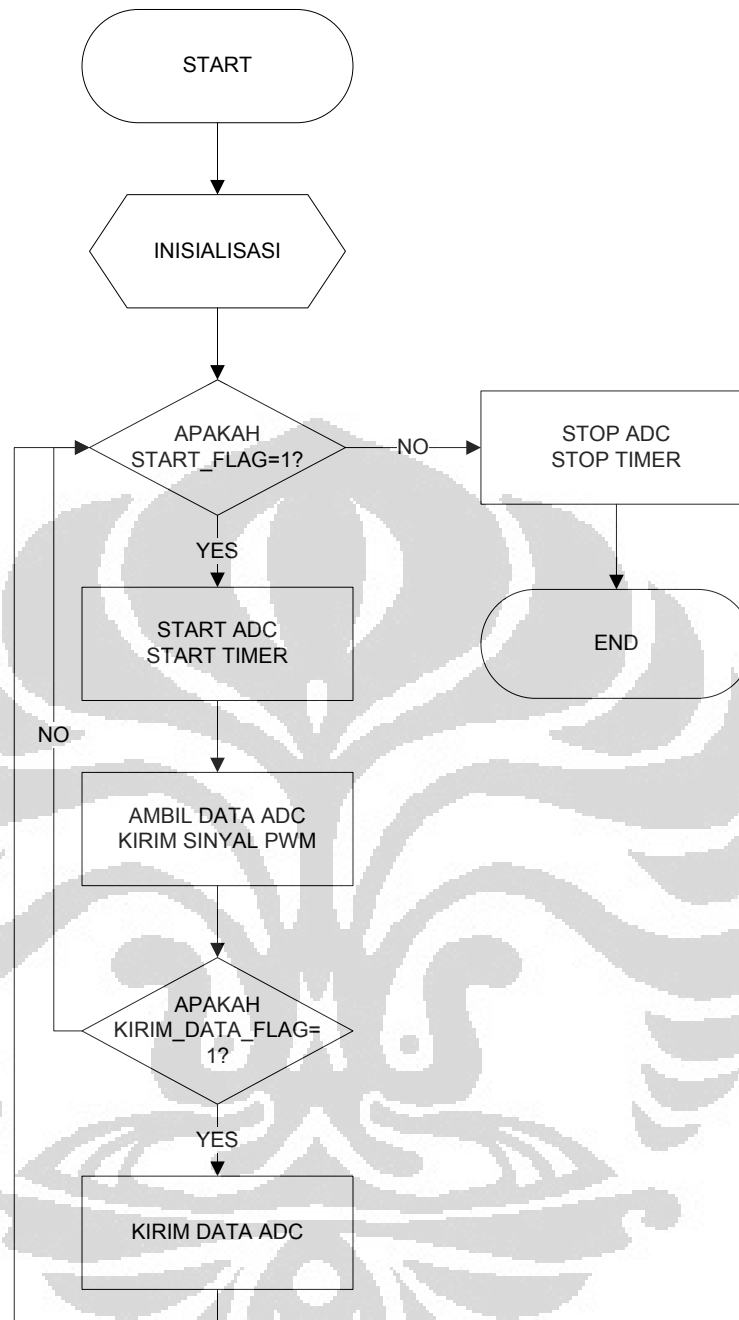


Gambar 3.4 Skematik driver kumparan

3.3 Perancangan perangkat lunak

3.3.1 Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan komponen utama dalam perangkat keras pada penelitian ini. Mikrokontroler yang digunakan berasal dari keluarga ATMEL AVR tipe ATMEGA8535. Tugas pokok dari mikrokontroler ini adalah menerima perintah dari PC yang nantinya akan diteruskan dalam bentuk mengambil data ADC (*Analog to Digital Converter*) dan juga memberikan sinyal PWM berupa *duty cycle*.



Gambar 3.5 Flowchart proses kerja mikrokontroler

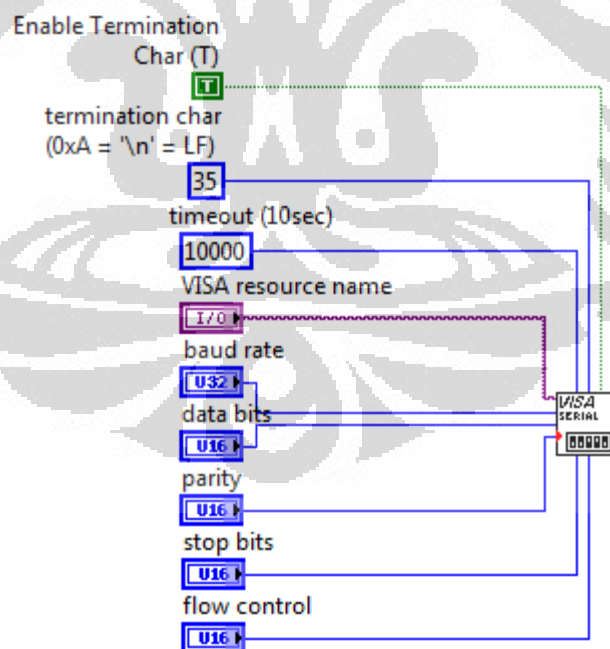
Gambar 3.5 menunjukkan bahwa mikrokontroler menunggu perintah dari PC berupa “START_FLAG” untuk mulai melakukan pengambilan data dan juga pengaturan *duty cycle* PWM. Karena adanya perbedaan sistem pewaktuan antara mikrokontroler dengan program LabView, maka untuk menghindari kesalahan

pengiriman data mikrokontroler akan menunggu perintah dari program LabView berupa “KIRIM_DATA_FLAG” sebelum mengirim data ke PC.

3.3.2 LabView

perintah-perintah yang diterima oleh mikrokontroler semuanya berasal dari sebuah program yang dibuat menggunakan LabView. LabView digunakan karena memudahkan operator ataupun programmer dalam membuat ataupun memodifikasi program. Selain pemrograman menggunakan icon (tidak menggunakan bahasa pemrograman layaknya C, basic, Delphi, dll), *interface* yang menarik, dan juga kompatibilitas terhadap berbagai macam komunikasi baik itu menggunakan kabel (serial RS232) ataupun wireless (Bluetooth). Contoh blok diagram dan *front panel* dari LabView.

Pada dasarnya prinsip komunikasi serial menggunakan LabView sama dengan komunikasi serial menggunakan mikrokontroler. LabView menggunakan mode asinkron sebagai mode komunikasi serial. Gambar 3.6 menunjukkan icon beserta konfigurasi serial pada LabView.

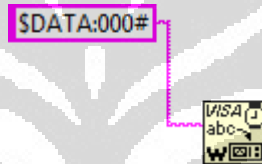


Gambar 3.6 Icon konfigurasi komunikasi serial pada LabView

Perbedaan mendasar konfigurasi pada LabView :

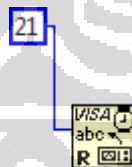
- a) *Enable termination char*, menyiapkan program untuk mengenali karakter akhir dari transmisi.
- b) *Termination char*, karakter akhir dari transmisi menggunakan kode karakter ASCII.
- c) *Timeout*, waktu yang dibutuhkan dari operasi read dan write.
- d) *VISA resource name*, port serial yang akan digunakan.

Untuk mengirim data menggunakan komunikasi serial dari LabView ke perangkat lain, menggunakan icon VISA Write. Pada gambar Gambar 3.7 terlihat bahwa data yang akan dikirim adalah karakter “\$DATA:000#” bertipe string.



Gambar 3.7 Icon VISA Write

Penerimaan data menggunakan komunikasi serial pada LabView dari perangkat lain, menggunakan icon VISA Read. Pada gambar Gambar 3.8 terlihat bahwa data yang diterima sebanyak 21 *byte*.



Gambar 3.8 Icon VISA Read

BAB 4

PENGUJIAN DAN ANALISIS

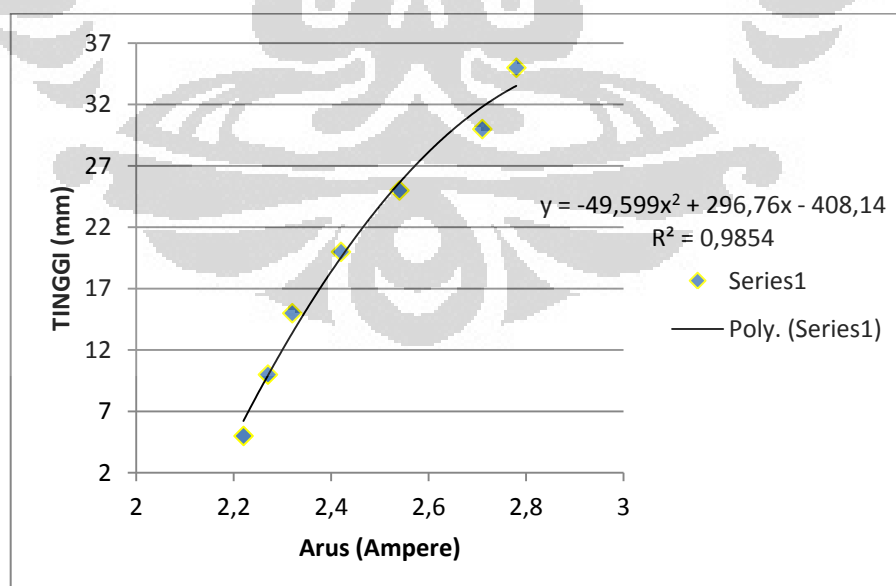
Bab ini akan dijelaskan tentang mengenai pengujian sistem *magnetik levitation* yang telah dibuat, pemodelan dan analisis dari hasil pengujian tersebut.

4.1 Pengujian arus terhadap tinggi bola

Dalam pengujian ini dicari hubungan antara nilai arus terhadap ketinggian bola baja. pengukuran dilakukan dengan cara memberikan arus pada kumparan sehingga bola baja mencapai ketinggian tertentu.

Tabel 4-1 Pengaruh arus terhadap tinggi bola baja

TINGGI (mm)	ARUS (Ampere)
5	2,22
10	2,27
15	2,32
20	2,42
25	2,54
30	2,71
35	2,78



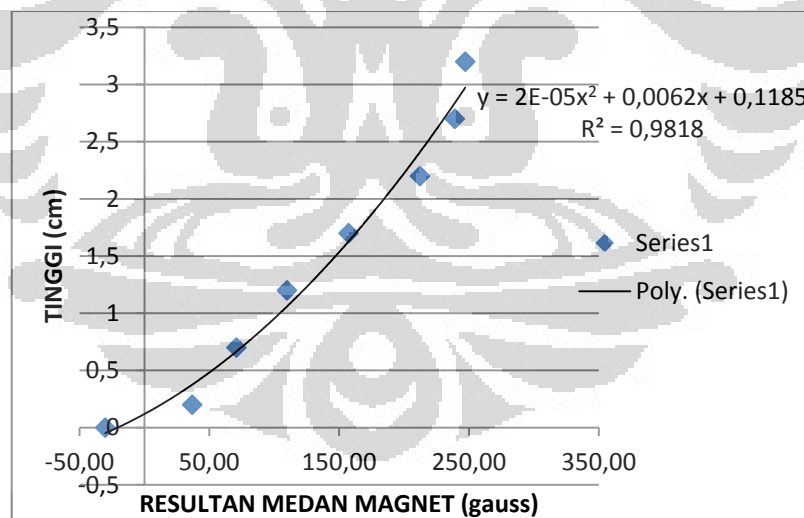
Gambar 4.1 Grafik arus vs tinggi bola baja

4.2 Pengujian sensor terhadap posisi

Dalam pengujian ini dicari hubungan antara nilai tegangan sensor dengan jarak bola baja. Pengukuran dilakukan dengan cara menjumlahkan resultan medan magnet di kedua ujung kumparan. Secara teoritis jumlah resultan medan magnet di kedua ujung kumparan sama dengan nol, sehingga resultan tambahan yaitu resultan medan magnet dari bola baja. Hal tersebut menyebabkan hasil resultan berubah proporsional terhadap jarak bola baja. Tabel 4-2 menunjukkan data adc dari resultan medan magnet antara sensor 1 dan sensor 2.

Tabel 4-2 Resultan medan magnet terhadap tinggi bola baja

RESULTAN MEDAN MAGNET	TINGGI (cm)
-30,19	0
36,81	0,2
70,86	0,7
109,79	1,2
157,26	1,7
212,23	2,2
239,05	2,7
247,15	3,2

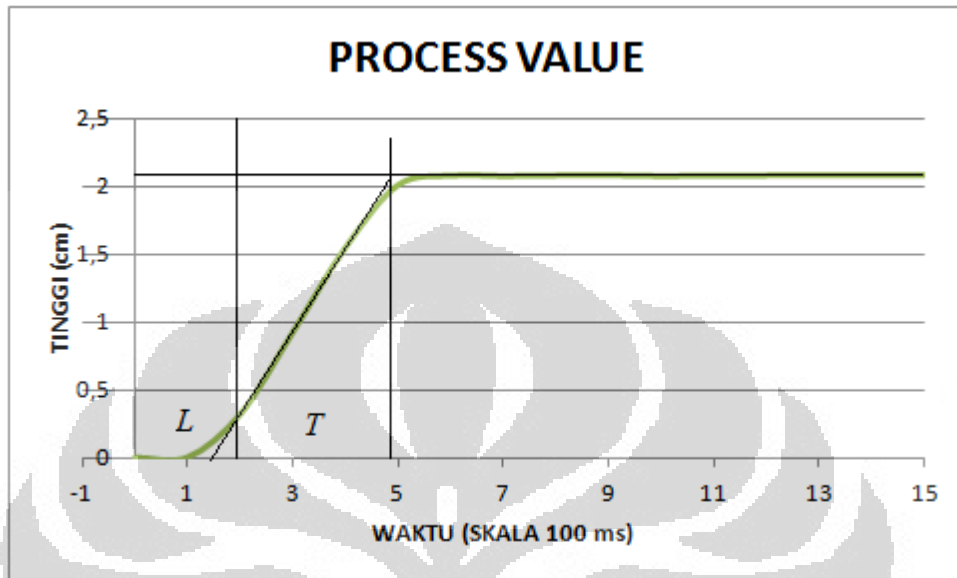


Gambar 4.2 Grafik resultan medan magnet vs tinggi bola pada kumparan

Berdasarkan Gambar 4.2 didapatkan jarak terjauh yang mampu terbaca oleh sensor pada kumparan adalah 3,2 cm.

4.3 Pengujian kendali *open loop*

Dengan memberikan nilai MV sebesar 35% dan menunggu hingga stabil, didapatkan grafik sebagai berikut :



Gambar 4.3 Grafik *open loop process variable* kumaran

Berdasarkan respon karakteristik pada Gambar 4.3 maka didapatkan parameter-parameter sebagai berikut, *lag time* 0,1527 detik, *rise time* 0,3055 detik.

Untuk mendapatkan *maximum overshoot* digunakan persamaan.

$$M_p = \frac{x_{maksimum} - x_{steady\ state}}{x_{steady\ state}} \times 100\%$$

$$M_p = \frac{2,09 - 2,069}{2,069} \times 100\%$$

$$M_p = 2,04\%$$

Dalam menentukan parameter-parameter PID digunakan metode penalaan kurva reaksi Ziegler-Nichols. Untuk itu diperlukan parameter-parameter tambahan yang harus dicari sebelumnya, yaitu L (*lag time*), N (*gradien maksimum*), dan T (*rise time*). Lag time adalah waktu antara titik dimulainya sinyal uji dan titik

dimana garis gradient maksimum memotong sumbu waktu grafik. Sedangkan T adalah waktu yang dibutuhkan mulai dari lag time hingga mencapai kestabilan.

Untuk mencari nilai N digunakan rumus,

$$N = \frac{\Delta PV}{T} \quad (4-1)$$

Dimana :

N = gradient dari kurva respon sistem

ΔPV = perubahan tinggi bola baja

T = waktu hingga stabil

Sehingga didapat nilai $N = 6,76$ telah itu maka nilai konstanta PID dapat dicari dengan tabel penalaan Ziegler-Nichols.

Tabel 4-3 Persamaan untuk menghitung nilai konstanta PID menggunakan metode Ziegler - Nichols

TIPE KENDALI	KP	TI	TD
P	$\frac{\Delta CV}{N \cdot L}$		
PI	$\frac{0,9 \cdot \Delta CV}{N \cdot L}$	$3,3 \cdot L$	
PID	$\frac{1,2 \cdot \Delta CV}{N \cdot L}$	$2 \cdot L$	$0,5 \cdot L$

Berdasarkan Tabel 4-3 maka

Nilai Parameter pada pengendali PI adalah:

$$K_P = \frac{0,9 \cdot 35}{6,76 \cdot 0,1527} = 30,52$$

$$T_i = 3,3 \cdot 0,1527 = 0,5$$

Nilai Parameter pada pengendali PID adalah:

$$K_p = \frac{1,2 \cdot 35}{6,76 \cdot 0,1527} = 40,65$$

$$T_i = 2 * 0,1527 = 0,3$$

$$T_d = 0,5 * 0,1527 = 0,076$$

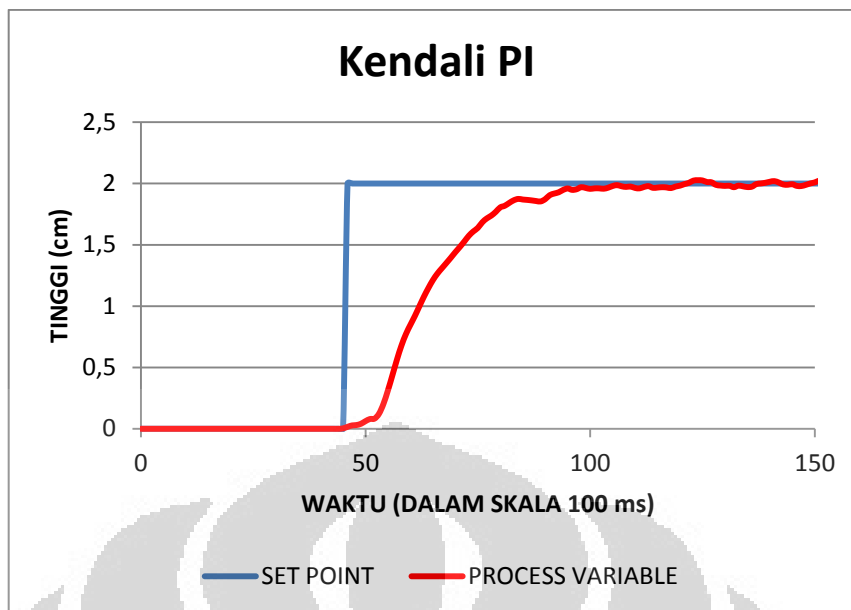
didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 4-4 Nilai parameter PID

PARAMETER	KENDALI PID	KENDALI PI
L	0,1527	0,1527
N	6,76	6,76
T	0,3055	0,3055
KP	40,65	30,52
TI	0,3	0,5
TD	0,076	

4.4 Pengujian kendali *closed loop*

Setelah mendapatkan nilai parameter PI, dan PID, nilai tersebut kemudian dimasukkan ke dalam program pengendalian. Dalam pengujian sistem secara keseluruhan sehingga didapat hasil sebagai berikut.



Gambar 4.4 Grafik pengendalian dengan kendali PI dan *set point* 2 cm

Bola di set agar mencapai ketinggian 2 cm. Parameter pengendali PI akan mengolah setpoint terhadap *process variable*. Perbedaan deviasi ini disebut *error*. Besar kecilnya *error* ditentukan oleh respon ketinggian bola. Berdasarkan Gambar 4.4 didapatkan perkiraan karakteristik transien dari bola dengan pengendalian PI.

Spesifikasi respon transien	Nilai	Satuan
<i>Lag time</i> , L	0,67	Detik
<i>Rise time</i> , T	7,047	Detik

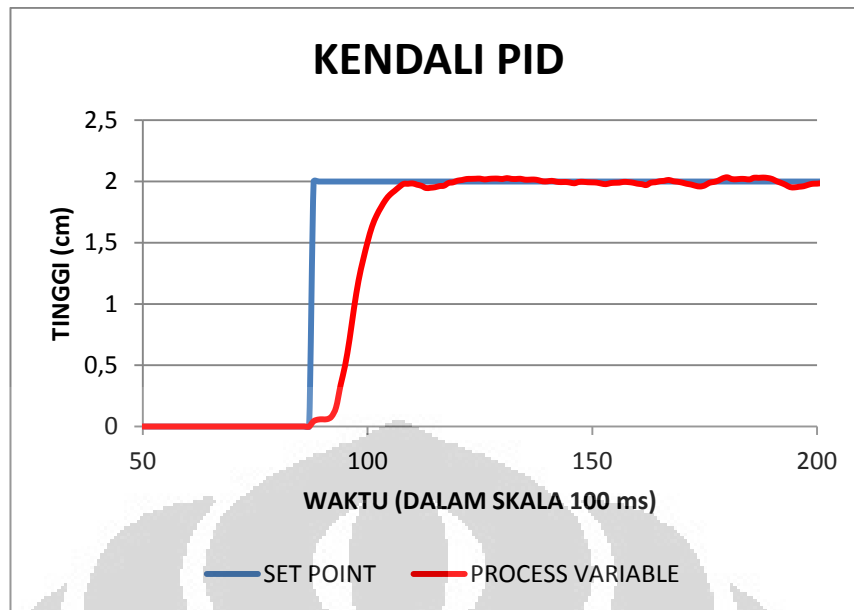
Setelah didapat nilai L dan T, maka *maximum overshoot* dapat dicari.

$$M_p = \frac{x_{maksimum} - x_{steady\ state}}{x_{steady\ state}} \times 100\%$$

$$M_p = \frac{2,028 - 2,044}{2,028} \times 100\%$$

$$M_p = 0,75\%$$

Setelah didapat parameter PID, kemudian dimasukkan ke dalam program pengendalian maka didapat hasil sebagai berikut:



Gambar 4.5 Grafik pengendalian dengan kendali PID dan set point 2 cm

Bola di set agar mencapai ketinggian 2 cm. Parameter pengendali PID akan mengolah setpoint terhadap *process variable*. Perbedaan deviasi ini disebut *error*. Besar kecilnya *error* ditentukan oleh respon ketinggian bola. Berdasarkan Gambar 4.5 didapatkan perkiraan karakteristik transien dari bola dengan pengendalian PID.

Spesifikasi respon transien	Nilai	Satuan
<i>Lag time, L</i>	0,54	Detik
<i>Rise time, T</i>	3,18	Detik

Setelah didapat nilai *L* dan *T*, maka *maximum overshoot* dapat dicari.

$$M_p = \frac{x_{maksimum} - x_{steady\ state}}{x_{steady\ state}} \times 100\%$$

$$M_p = \frac{2,053 - 2,023}{2,023} \times 100\%$$

$$M_p = 1,47\%$$

Dengan melihat perbandingan antara kendali PI dan kendali PID, terlihat bahwa pada kendali PID bola lebih cepat mencapai set point namun persentase *maximum overshoot* lebih tinggi jika dibandingkan dengan kendali PI. Nilai overshoot pada ketinggian bola baja yang cukup kecil ini menandakan pengendali PID dapat mempengaruhi keluaran untuk kumparan yang memiliki karakteristik transien overshoot 2,04% menjadi 0,75% dengan kendali PI dan 1,47% dengan kendali PID. Kelebihan pengendali PID ini, dapat membuat respon tidak mengalami osilasi, namun respon yang dihasilkan untuk mencapai *set point* menjadi lebih lambat.



BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari serangkaian pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan :

1. Pengendalian PID dapat diaplikasikan pada sistem *magnetik levitation*.
2. Karakteristik transien *maglev* adalah *lag time* 0,1527 detik, *rise time* 0,3055 detik, *maximum overshoot* 2,04%
3. Konstanta parameter PI adalah, $K_p = 30,52$, $T_i = 0,5$
4. Respon transien yang dihasilkan *maglev* dengan pengendali PI adalah *lag time* 0,67 detik, *rise time* 7,047 detik, *maximum overshoot* 0,75%
5. Konstanta parameter PID adalah, $K_p = 40,65$, $T_i = 0,3$, $T_d = 0,076$
6. Respon transien yang dihasilkan *maglev* dengan pengendali PI adalah *lag time* 0,54 detik, *rise time* 3,18 detik, *maximum overshoot* 1,47%

5.2 Saran

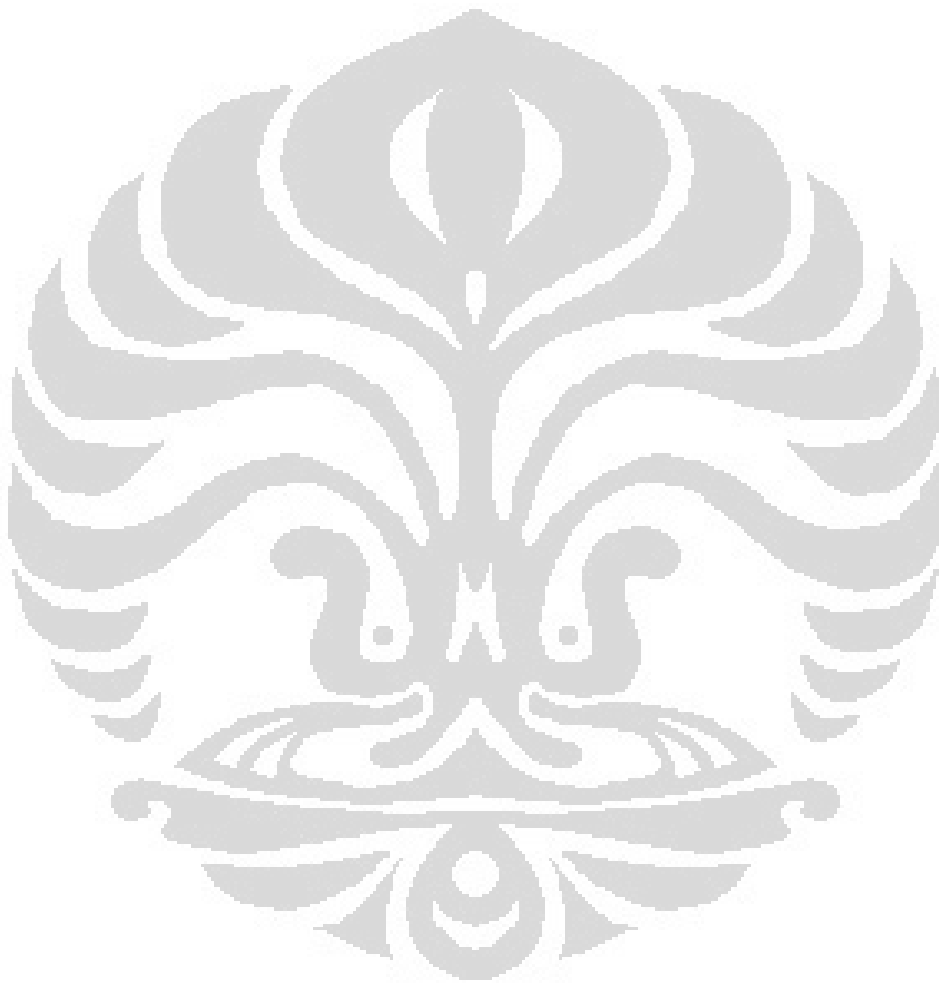
Penggunaan sensor efek hall pada sistem ini memiliki keterbatasan, mulai dari batasan jarak, dan rentan terpengaruh noise. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya menggunakan sensor laser sehingga ketinggian lebih presisi.

Menggunakan sistem pengendali yang lebih handal dengan tujuan menghilangkan overshoot. Kumparan sebisa mungkin digulung lebih rapat, dan rapi agar efektif dalam menghasilkan medan magnet.

DAFTAR ACUAN

- [1] B. Ibrahim, M. A. (2008). *Magnetik Levitation System using Kumparan*. Malaysia: Universiti Teknologi Malaysia.
- [2] Bolton, W. (2004). *Instrumentation and Control System*. USA: Elsevier.
- [3] Hoadley, R. (2011, Januari 2). *Home-Built Magnetik Levitator*. Retrieved Maret 15, 2011, from coolmagnetman: <http://www.coolmagnetman.com/magsus.htm>
- [4] Ibrahim, D. (2002). *Microcontroller Based Temperature Monitoring and Control*. USA: Elsevier.
- [5] Inc., A. (2006, September 27). *Atmel AVR*. Retrieved Mei 15, 2008, from Atmel Inc.: http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2503.pdf
- [6] Kilian, C. T. (2005). *Modern control technology: components and systems 2nd edition*. USA: Delmar Thomson Learning.
- [7] Kurtus, R. (2006, Oktober 06). *school for champions*. Retrieved Desember 25, 2011, from basic of magnetism: <http://www.schoolforchampions.com/science/magnetism.htm>
- [8] MicroSystems, A. (2010, Agustus 2). *allegromicro*. Retrieved Mei 15, 2011, from Allegro MicroSystems Inc.: www.allegromicro.com/en/Products/Part_Numbers/1301/1301.pdf
- [9] Nave, D. R. (2010). *HyperPhysics*. Retrieved Januari 29, 2011, from <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetik/magfie.html>
- [10] PayZtronics. (2009, Agustus 18). *explore your brain*. Retrieved Desember 25, 2011, from komunikasi USART mode: <http://payztronics.blogspot.com/2009/08/komunikasi-usart-avr-mode-asinkron.html>
- [11] Purbaningrat, R. (2008). *Perancangan dan Pembuatan Perangkat Keras Steel Ball Magnetik Levitation*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- [12] Setiawan, H. (2011, April 15). *Sensor Efek Medan Hall UGN 3503*. Retrieved Desember 19, 2011, from Berbagai Pengetahuan: <http://ilmubawang.blogspot.com/2011/04/sensor-efek-medan-hall-ugn3503.html>

- [13] Setiawan, I. (2008). *Kontrol PID untuk Proses Industri*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- [14] Tipler, P. A. (2001). *Fisika Untuk Sains dan Teknik, Volume 2*. Jakarta: Erlangga.





©Bazoka Sipahutar 2011

LAMPIRAN 2 : Program basic pada mikrokontroler

```
$regfile = "8535def.dat"
```

```
$crystal = 8000000
```

```
$baud = 19200
```

```
On Urxc Serial_in
```

```
Enable Interrupts
```

```
Enable Urxc
```

```
Config Timer1 = Pwm , Pwm = 10 , Compare A Pwm = Clear Up , Compare B  
Pwm = Clear Up , Prescale = 1
```

```
Config Adc = Single , Prescaler = Auto , Reference = Avcc
```

```
Dim Ulang As Bit
```

```
Dim Data_serial As Byte
```

```
Dim Data_chr As String * 8
```

```
Dim Perintah As String * 8
```

```
Dim Device As String * 8
```

```
Dim Lower_coil As Integer
```

```
Dim Upper_coil As Integer
```

```
Dim Start_flag As Bit
```

```
Dim Kirim_data_flag As Bit
```

```
Dim Hall_1 As Word
```

```
Dim Hall_2 As Word
```

```
Dim Hall_3 As Word
```

```
Dim Hall_4 As Word
```

```
If Start_flag = 1 Then
```

```
Start Adc
```

Start Timer1

```

Do
  If Kirim_data_flag = 1 Then
    Print "$" ; Hall_1 ; ":" ; Hall_2 ; ":" ; Hall_3 ; ":" ; Hall_4 ; "#"
    Kirim_data_flag = 0
  End If
  Hall_1 = Getadc(0)
  Hall_2 = Getadc(1)
  Hall_3 = Getadc(2)
  Hall_4 = Getadc(3)
  Pwm1a = Lower_coil
  Pwm1b = Upper_coil
  Loop Until Start_flag = 0
Else
  Stop Adc
  Stop Timer1
End If

```

Serial_in:

```

Disable Interrupts
Data_serial = Inkey()
If Data_serial = 36 Then '$
  Data_chr = ""
  Ulang = 1
  Do
    Data_serial = Waitkey()
    If Data_serial = 58 Then
      Ulang = 0
    '

```

```
Else
    Data_chr = Data_chr + Chr(data_serial)
End If

Loop Until Ulang = 0

Device = Data_chr

Ulang = 1

Data_chr = ""

Do
    Data_serial = Waitkey()
    If Data_serial = 35 Then                '#
        Ulang = 0
    Else
        Data_chr = Data_chr + Chr(data_serial)
    End If
Loop Until Ulang = 0

Perintah = Data_chr

If Device = "DATA" Then
    Kirim_data_flag = 1
End If

If Device = "SP1" Then
    Lower_coil = Val(perintah)
End If

If Device = "SP2" Then
    Upper_coil = Val(perintah)
End If

If Device = "SYS" Then
    If Perintah = "ON" Then
        Start_flag = 1
```

```
End If  
If Perintah = "OFF" Then  
    Start_flag = 0  
End If  
End If  
End If  
Enable Interrupts  
Return
```

