

**RANCANG BANGUN *PROTOTYPE MAGNETIC LEVITATION* SEBAGAI KONTROL  
POSISI BOLA BESI DENGAN MENGGUNAKAN METODE *FUZZY LOGIC*  
*CONTROL***

***DESIGN OF THE MAGNETIC LEVITATION PROTOTYPE AS IRON BALL POSITION  
USING FUZZY LOGIC CONTROL METHOD***

Indra Laksana, Porman Pangaribuan<sup>2</sup>, Ig.Prasetya Dwi Wibawa<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[laksanaindra@students.telkomuniversity.ac.id](mailto:laksanaindra@students.telkomuniversity.ac.id), <sup>2</sup>[porpangrib@yahoo.com](mailto:porpangrib@yahoo.com), <sup>3</sup>[prasdwiwibwa@telkomuniversity.ac.id](mailto:prasdwiwibwa@telkomuniversity.ac.id)

**Abstrak**

*Magnetic levitation* adalah salah satu inovasi teknologi yang banyak digunakan dewasa ini. Prinsip kerja *magnetic levitation* ini yaitu menggunakan pemanfaatan energi magnet yang dihasilkan dari gaya elektromagnetik. Tujuan dibuatnya purwarupa dari sistem ini adalah untuk mengamati dan membuktikan peristiwa pelayangan benda dengan menggunakan teori yang diterapkan pada sistem ini. Serta mencari rentang jarak stabil posisi benda pada saat proses pelayangan.

Pada pengerjaan tugas akhir ini telah dibuat suatu *prototype/purwarupa* dari teori sistem *magnetic levitation* ini menggunakan metode *fuzzy logic*. Dari perolehan data yang sudah didapatkan berupa tegangan, arus, PWM, dan juga hasil pembacaan sensor nantinya akan diolah oleh sistem untuk mengatur keseimbangan bola pada saat diudara dengan bantuan metode *fuzzy logic control*. Penggunaan metode ini digunakan untuk mengatur PWM yang masuk ke lilitan solenoid yang nantinya akan menghasilkan gaya elektromagnetik berdasarkan hasil pembacaan dari sensor *hall effect*.

Dari penelitian yang dilakukan, *prototype* sistem *magnetic levitation* dengan metode *fuzzy logic* tipe sugeno yang telah dirancang dengan menggunakan lima keluaran nilai *out defuzzy* serta tiga daerah fungsi keanggotaan pada kedua *input fuzzy* yaitu untuk nilai batas *error* -50,10,30 dan daerah batas *delta error* -20,5,20, *prototype* yang telah dibuat dapat melakukan proses pelayangan objek walaupun dengan waktu pelayangan paling lama selama lima detik diudara pada jarak 1,2 cm yang diukur dari batas bawah solenoid dengan beban yang tetap yaitu 18 gram dan tegangan sumber 6,63 volt. Jarak akan berubah sesuai dengan keluaran PWM yang dihasilkan dari proses logika *fuzzy* pada mikrokontroler.

**Kata Kunci :** *Magnetic Levitation, Gaya Elektromagnetik, Fuzzy Logic*

**Abstract**

*Magnetic levitation* is one of technological innovations that much used today. *Magnetic levitation* can be define as the levitating process of an object to a reference assisted by a force of electromagnetic without any physical contact. The principle of this device by use magnetic energy resulting from electromagnetic force. The purpose made for this *prototype* of this system is to observe and prove the levitating process of an objects using the theory applied to this system. As well as finding a stable position within the range of objects during the process.

On this final project has been made a *prototype* from theory of *Magnetic Levitation* which used *Fuzzy Logic Method*. On the datas there are voltage, electricity current, PMW and also the result of sensor reading which will be processed system to set the ball balance when in the air with helped a method of a *Fuzzy Logic Control*. This method used to set PWM turn in to winding a solenoid which will be produce electromagnetic force based on input hall sensors effect.

From research conducted, *prototype magnetic levitation* system with Sugeno type fuzzy logic method that has been designed using five output value out defuzzy as well as three regional membership function on the second fuzzy input is to value limits -50,10,30 error and delta error boundary area -20,5,20, the *prototype* that has been created can make the levitating process for five seconds in the air at a distance of 1.2 cm measured from the lower limit of the solenoid with a fixed mass 18 grams and the voltage source 6, 63 volt. The distance will change according to the PWM output generated from the fuzzy logic process on the microcontroller.

**Keywords :** *Magnetic Levitation, Electromagnetic force, Fuzzy Logic*

## 1. Pendahuluan

Pada zaman modern seperti sekarang ini, telah banyak diciptakan teknologi-teknologi canggih yang digunakan untuk membantu kehidupan manusia. Salah satu contohnya adalah teknologi kereta super cepat yang didasari oleh prinsip maglev atau *magnetic levitation*. Pada saat ini, prinsip sistem maglev telah banyak dipakai untuk sistem transportasi yang sedang berkembang di negara-negara industri.

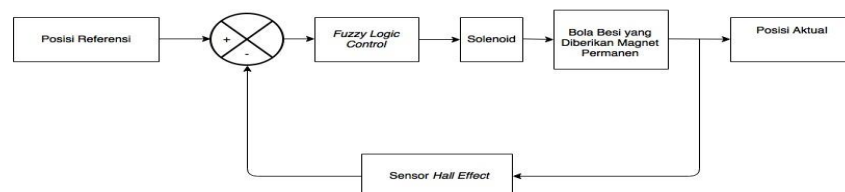
Pada mekanisme sistem konvensional akan banyak ditemukan gaya gesek yang dapat mengurangi keandalan sistem. Penggunaan teori sistem *magnetic levitation* dimaksudkan untuk mengurangi gaya gesek yang dapat ditimbulkan oleh sistem mekanisme konvensional tadi.

Secara sederhana *magnetic levitation* dapat didefinisikan sebagai suatu proses pelayangan benda pada suatu ruang bebas dengan menggunakan bantuan medan magnet untuk melawan efek gaya gravitasi.

Untuk memahami lebih lanjut teori tentang maglev ini diperlukan suatu perangkat keras dengan menerapkan sistem *magnetic levitation*. Maka dari situlah dalam pengerjaan tugas akhir ini penulis telah membuat suatu *prototype magnetic levitation* dengan menggunakan metode *fuzzy logic control* serta sensor *hall effect* sebagai *feedback control* sistemnya. Penggunaan sensor dimaksudkan untuk mencari letak posisi benda yang akan mengalami proses pelayangan. Menurut hasil pembacaan sensor, maka kuat gaya elektromagnetik tersebut akan diatur. Jika objek berada di atas posisi yang diinginkan, *controller* akan mengurangi arus dalam elektromagnet dan gaya magnetnya dengan mengatur PWM yang dihasilkan oleh mikrokontroler. Dan jika objek di bawah posisi yang diinginkan, arus yang ada di dalam solenoid akan meningkat.

## 2. Dasar Teori dan Perancangan

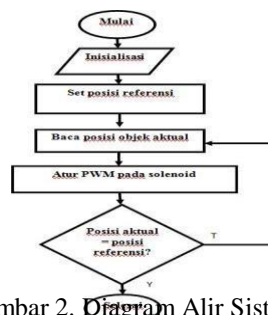
### 2.1. Perancangan Sistem



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Pada pengerjaan tugas akhir ini penulis telah merancang suatu sistem *magnetic levitation* yang digunakan untuk mengontrol posisi suatu objek berupa bola besi yang diberi magnet permanen. Penulis akan menggunakan posisi referensi yang diinginkan untuk dijadikan input dari sistem yang ada pada Gambar 1. Sensor *hall effect* sebagai feedback sistem digunakan untuk mengetahui posisi benda pada saat proses levitasi. Sinyal analog yang berasal dari sensor akan masuk ke mikrokontroler dan akan diproses. Di dalam mikrokontroler ini nantinya akan terjadi proses logika *fuzzy* sebagai metode yang digunakan penulis. Logika *fuzzy* digunakan untuk mengatur nilai PWM yang dibutuhkan solenoid untuk melayangkan benda agar sesuai dengan posisi stabil benda tersebut. Plant yang dimaksud berdasarkan Gambar 1, ialah objek yang akan dilayangkan yaitu berupa bola besi yang diberi magnet. Gaya magnet yang dihasilkan akan menarik benda secara vertikal. Output yang diinginkan dari sistem diatas adalah posisi benda yang dilayangkan sudah dalam keadaan stabil.

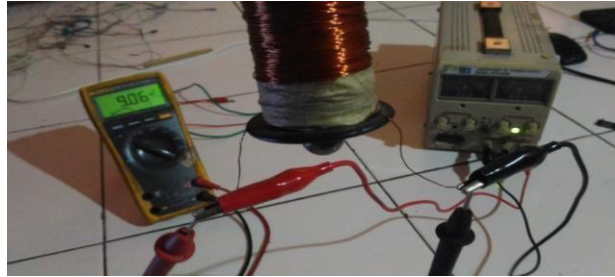
### 2.2 Diagram Alir Sistem



Gambar 2. Diagram Alir Sistem

### 3 Pengujian dan Analisis

#### 3.1 Pengujian Solenoid



Gambar 5. Pengujian Solenoid

Tabel 1. Hasil Pengujian Solenoid

NO.	Vin(V)	Iout(mA)
1	0	0
2	0.5	19.89
3	1	39.96
4	1.5	59.8
5	2	79.7
6	2.5	99.6
7	3	119.7
8	3.5	139.7
9	4	159.7
10	4.5	179.7
11	5	199.7
12	5.5	219.2
13	6	239.2
14	6.5	259.2
15	7	279.2
16	7.5	288.7
17	8	318.7
18	8.5	338.7
19	9	356.6
20	9.5	376.4
21	10	397

Berdasarkan data dari Tabel 1. dapat disimpulkan bahwa solenoid memiliki dua daerah kerja yang memiliki kenaikan konstan untuk arusnya yaitu daerah pertama mulai dari tegangan 3V s.d. 5V. Serta daerah kedua yaitu mulai dari 5.5V s.d. 7V.

### 3.2 Pengujian Sensor *Hall Effect*

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Sensor *Hall Effect* yang digunakan

No.	ADC	Vout(V)
1	524	2.55
2	514	2.5
3	504	2.45
4	494	2.4
5	484	2.35
6	474	2.3
7	464	2.25
8	454	2.2
9	444	2.15
10	434	2.1
11	424	2.05
12	414	2
13	404	1.95
14	394	1.9
15	384	1.85

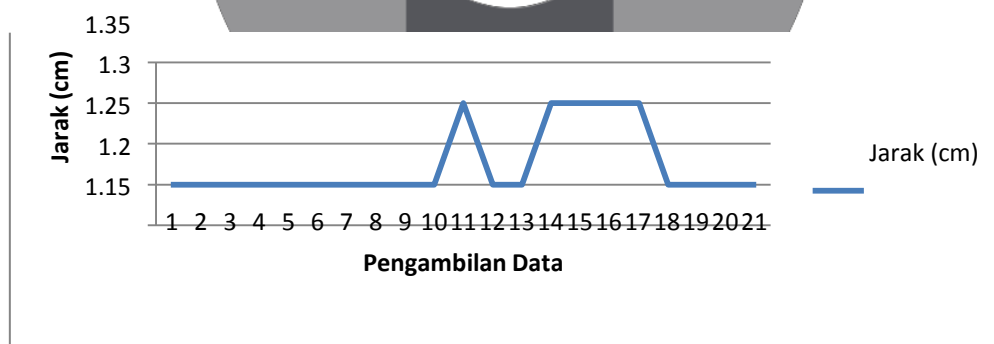
Berdasarkan data pada Tabel 2. dapat disimpulkan bahwa pembacaan ADC pada sensor dimulai pada nilai 524 dan semakin dekat medan magnet, maka nilai ADC serta tegangan keluaran sensor akan berkurang. Hal ini sesuai dengan prinsip kerja sensor *hall effect*. Maka dapat dikatakan sensor bekerja dengan baik karena grafik menunjukkan hubungan yang linear antara nilai ADC sensor dan tegangan keluarannya.

### 3.3 Pengujian Sistem Keseluruhan

Tabel 1. Data Hasil Pengujian fuzzy dengan daerah *error* -50,10,30 dan *delta error* -20,5,20

No.	ADC Sensor	PWM	Arus Pada Solenoid (mA)	Jarak (cm)	Tegangan pada Solenoid (V)	Tegangan Sensor (V)	Tegangan Masukan (V)
1	365	166	182.88	1.2	4.316	1.83	6.63
2	366	168	185.08	1.2	4.368	1.8	6.63
3	365	166	182.88	1.2	4.316	1.83	6.63

4	364	164	180.67	1.2	4.264	1.83	6.63
5	365	166	182.88	1.2	4.316	1.83	6.63
6	364	164	180.67	1.2	4.264	1.83	6.63
7	364	164	180.67	1.2	4.264	1.83	6.63
8	364	164	180.67	1.2	4.264	1.83	6.63
9	363	162	178.47	1.2	4.212	1.83	6.63
10	363	162	178.47	1.2	4.212	1.83	6.63
11	362	84	92.54	1.3	2.184	1.87	6.63
12	363	162	178.47	1.2	4.212	1.83	6.63
13	363	162	178.47	1.2	4.212	1.83	6.63
14	361	85	93.64	1.3	2.21	1.87	6.63
15	362	85	93.64	1.3	2.21	1.87	6.63
16	361	85	93.64	1.3	2.21	1.87	6.63
17	362	85	93.64	1.3	2.21	1.87	6.63
18	363	162	178.47	1.2	4.212	1.83	6.63
19	363	162	178.47	1.2	4.212	1.83	6.63
20	364	164	180.67	1.2	4.264	1.83	6.63
21	364	164	180.67	1.2	4.264	1.83	6.63



Gambar 7. Grafik Perbandingan Antara Jarak yang diperoleh dengan Banyaknya Pengambilan Data pada Percobaan Pertama

Berdasarkan data-data dan grafik yang sudah diperoleh pada saat percobaan pertama dapat disimpulkan bahwa pada daerah *error* dan *delta error* tersebut, Sistem akan mengeluarkan nilai PWM yang lebih pada nilai 160 s.d. 168. Dengan pola PWM seperti ini, proses pelayangan benda diudara dapat bertahan selama 5 detik lamanya. Waktu pelayangan ini dapat penulis simpulkan berdasarkan *trial and error* pada saat pengujian sistem. Berdasarkan Gambar 9. posisi benda pada awalnya berada pada jarak yang tetap yaitu 1.2 cm lalu berubah ketika sistem mengeluarkan PWM yang berbeda. Dan akan kembali lagi pada jarak 1.2 cm.

Telah dilakukan lima kali pengujian pada sistem maka dapat disimpulkan bahwa setiap percobaan yang dilakukan memiliki pola PWM yang berbeda-beda. Semakin kecil daerah error yang digunakan maka, pola PWM yang dihasilkan akan semakin bervariasi. Variasi dari PWM ini nantinya akan berpengaruh pada waktu lamanya benda pada saat melayang diudara. Untuk percobaan yang sudah dilakukan, daerah fuzzy yang paling cocok diimplementasikan pada sistem ialah daerah fuzzy pada percobaan pertama. Karena pada setiap pengujian sudah dilakukan *trial and error*. Dan hanya pada percobaan pertama benda dapat melayang lebih lama daripada dengan menggunakan daerah lainnya

### 3.4 Perhitungan dan Analisis Kestabilan Sistem dengan MATLAB

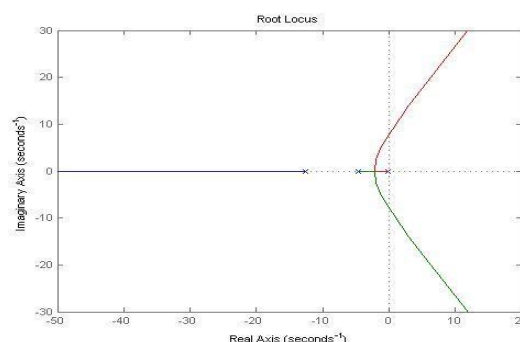
Pada bagian ini penulis akan memaparkan perhitungan kestabilan sistem yang telah dirancang pada bab tiga. Parameter-parameter terkait akan dimasukan kedalam perhitungan. Parameter-parameter tersebut di dapat dari hasil percobaan pada *prototype* yang telah dibuat. Berikut ini merupakan nilai parameter-parameter yang terkait tersebut:

Tabel 2. Parameter-parameter yang digunakan pada Perhitungan Kestabilan Sistem

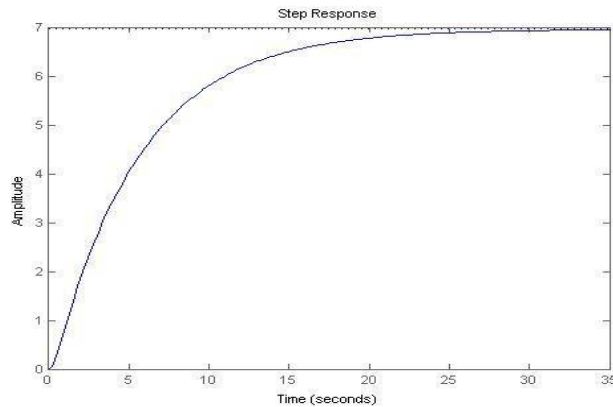
Parameter Terkait	Nilai
$i_0$	0.129 A
$y_0$	0.012 m
$m$	0.018 kg
$g$	9.807 m/s <sup>2</sup>
$L_1$	44.4 H
$L_0$	0.254 H
$R$	25 ohm
	22.33981

Perhitungan kestabilan sistem ini menggunakan metode *pole placement control* untuk mencari nilai matriks K agar sistem dalam keadaan stabil. Perhitungan parameter-parameter ini dilakukan pada *software* MATLAB. Setelah melakukan perhitungan maka akan didapatkan fungsi alih sistem sebagai berikut:

Setelah mendapatkan fungsi alih, maka kestabilan sistem dapat dilihat melalui diagram *root locus* dan juga *step respon* sistem pada MATLAB. Berikut adalah tampilan diagram *root locus*nya:



Gambar 8. Diagram *Root Locus* setelah Menggunakan Metode *Pole Placement*



Gambar 9. Respon Step Sistem setelah Menggunakan Metode *Pole Placement*

Pada Gambar 8. Dan 9. semua letak *pole* dan *zeronya* ada pada sisi sebelah kiri garis sumbu imajiner. Serta pada dapat dilihat bahwa respon step dari sistem pada saat sistem stabil. Berdasarkan gambar diagram *root locus* tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem sudah stabil karena semua letak *pole* dan *zeronya* ada di sisi kiri sumbu imajiner.

#### 4 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada tugas akhir ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. *Prototype* sistem *magnetic levitation* yang telah dibuat sudah bisa melakukan proses pelayangan walaupun dengan waktu pelayangan paling lama lima detik diudara pada jarak 1,2 cm terukur dari batas bawah solenoid.
2. *Fuzzy logic* yang sudah dirancang berhasil diimplementasikan pada sistem.
3. Pada lima kali percobaan yang telah dilakukan, setiap daerah *fuzzy* memiliki pola nilai keluaran PWM yang berbeda beda. Pola-pola tersebut akan sangat berpengaruh pada waktu lamanya benda melayang diudara. Berdasarkan percobaan trial and error yang telah dilakukan pada setiap masing-masing daerah fungsi keanggotaan *error* dan *delta error* fuzzy, maka daerah yang paling cocok untuk fungsi keanggotaan *error*nya adalah -50,10,30 dan fungsi keanggotaan *delta error*nya adalah -20,5,20.
4. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, beban objek yang dapat dilayangkan adalah beban yang memiliki massa yang tetap yaitu 18 gram.
5. Tegangan sumber yang paling cocok digunakan pada saat pelayangan benda adalah 6.63 Volt.
6. Pada perhitungan analisis kestabilan sistem, nilai matriks K yang dibutuhkan untuk membuat sistem menjadi stabil adalah  $K = [27.4965 \quad 91.8080 \quad 16.9647]$ . Nilai matriks K ini diperoleh dengan cara menggunakan Metode *Pole Placement* pada sistem yang belum stabil.

## DAFTAR PUSTAKA:

1. *Magnetic Field*. Dipetik Agustus 8, 2015, dari <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/magfie.html#c1>
2. Rahmat Purbaningrat. *Perancangan dan Pembuatan Perangkat Keras Steel Ball Magnetic Levitation*, Institut Teknologi Bandung, 2008.
3. Wibowo, B. D., & Sutomo, S. (2011). PEMODELAN DAN SIMULASI SISTEM CONTROL MAGNETIC LEVITATION BALL. *ROTASI– Vol. 13, No. 2* , 1.
4. Consolidation, C. L. (2014, September 23). Retrieved Agustus 15, 2015, from <http://fisikazone.com/medan-magnet/>
5. Darmawan, D. (2010). Bertanya Fisika Seri Listrik Magnet. Dalam D. Darmawan, *Bertanya Fisika Seri Listrik Magnet* (halaman 219-222).
6. *Rumus Hitung*. (2014, Januari 24). Dipetik Agustus 20, 2015, from <http://rumushitung.com/2015/01/24/medan-elektromagnet/>
7. Prawoto, I. (2016, Maret 23). Dipetik April 10, 2016, from <http://www.caratekno.com/2015/07/pengertian-arduino-uno-mikrokontroler.html>
8. *Linier Solenoid Actuator*. Dipetik Agustus 19, 2015, dari [http://www.electronicstutorials.ws/io/io\\_6.htm](http://www.electronicstutorials.ws/io/io_6.htm)
9. elektronika, e.-b. (2012, Oktober 22). Dipetik April 10, 2016, dari <http://e-belajarelekttronika.com/half-effect-sensor-ugn3503u/>
10. (2014, Juni 12). Dipetik April 10, 2016, from <http://www.geyosoft.com/2014/pwm-pulse-width-modulation>
11. Yan, J., Ryan, M., & Power, J. *Fuzzy Logic*. Singapore: Prentice Hall.
12. Salim, T. T., & Karsli, V. M. (2013). Control of Single Axis Magnetic Levitation System Using Fuzzy Logic Control. (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications , 83-85.
13. Borsuk, R. Dipetik April 21, 2015, from <http://www.reidb.net/MagLevigator.html>



