

Studi *Magnetic Levitation* dengan Kontrol Arduino

Lim, Michael Ponsa, Handry Khoswanto, Heri Saptono

Program Studi Teknk Elektro, Universitas Kristen Petra

Jalan Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236, Indonesia

E-Mail: michael.ponsa@gmail.com : handry@petra.ac.id : herisw@petra.ac.id

Abstrak — Pembuatan *magnetic levitation* adalah salah satu contoh akan pemanfaatan gaya magnet pada kehidupan sehari – hari. Diharapkan pembuatan tugas akhir ini dapat menjadi inspirasi dan kemajuan di bidang teknologi. Sistem ini memanfaatkan gaya tolakan dari magnet untuk melakukan levitasi.

Sistem ini dibuat dengan memanfaatkan gaya magnet dari kumparan dan magnet tetap. Fungsi dari magnet tetap adalah untuk memberikan gaya angkat pada objek levitasi dan kumparan berfungsi untuk memberikan gaya secara horizontal untuk menstabilkan objek levitasi agar selalu berada pada posisi semula. Gaya magnet pada kumparan dikontrol menggunakan driver H-Bridge untuk menentukan arah polaritas kutubnya. Penggunaan hall-effect sensor digunakan untuk mengetahui posisi dari objek yang dilevitasi, yang kemudian akan menjadi sebuah nilai masukan mikrokontroler. Nilai keluaran dari sensor akan dikalkulasi menggunakan program perhitungan pada mikrokontroler dengan metode kontrol PID yang kemudian hasilnya akan menjadi nilai masukan untuk driver H-Bridge. Proses tersebut akan diulang – ulang terus menerus agar sistem dapat memperoleh kestabilan pada saat melakukan levitasi.

Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa semakin tebal ring magnet yang digunakan untuk melakukan levitasi maka semakin besar gaya angkat yang dihasilkan. Penggunaan ring magnet berdiameter dalam 9.5 cm dan berdiameter luar 11.5 cm mampu memberikan gaya angkat benda dengan massa 25 gram akan tetapi belum dapat memberikan kestabilan posisi sehingga objek yang dilevitasi akan tertarik jatuh ke samping. Pengaruh medan magnet yang dihasilkan kumparan terhadap sensor pada sistem relatif kecil dan dapat diabaikan. Kumparan dapat mengembalikan objek kembali ke set point pada saat tidak terpengaruh oleh ring magnet, akan tetapi gagal pada saat terpengaruh oleh ring magnet.

Kata Kunci — *Magnetic levitation*, Hall-effect, H-bridge, Arduino.

I. PENDAHULUAN

Berbagai penelitian dan studi tentang magnet telah menghasilkan berbagai produk yang bermanfaat bagi manusia. Motor induksi, generator listrik, *smart key* pada pintu, kereta api cepat, dan masih banyak produk yang telah dihasilkan dengan memanfaatkan magnet ataupun medan magnet. Salah satu contoh pengaplikasian medan magnet juga terdapat pada alat *magnetic levitation*.

Magnetic levitation merupakan fenomena yang dapat melayangkan benda. Fenomena tersebut dapat menyeimbangkan antara gaya gravitasi bumi dan gaya tarik magnetis. *Magnetic levitation* sendiri adalah hal yang baru dan sekarang ini banyak diterapkan di sektor transportasi. Kereta *magnetic levitation* adalah sebuah kereta sedang dikembangkan oleh berbagai negara maju sebagai sebuah alternatif baru dalam transportasi masal, yang diklaim lebih efisien daripada kereta api konvensional karena pada kereta ini

tidak memiliki gaya gesek dan hanya membutuhkan sedikit dorongan untuk dapat bergerak [1].

Magnetic levitation adalah alat yang digunakan untuk melayangkan benda. Alat ini menyeimbangkan antara gaya magnetis dan berat benda yang dipengaruhi gaya gravitasi bumi. Alat ini sudah pernah dibuat sebagai tugas akhir dan diletakkan di Laboratorium Sistem Kontrol dan juga telah di lanjutkan menggunakan sensor yang berbeda oleh Alan Astono di Universitas Kristen Petra. Pada tugas akhir ini dilakukan studi untuk melakukan *levitation* dengan menggunakan gaya magnet yang berbeda. Pada tugas akhir yang sebelumnya gaya tarik magnet digunakan untuk melakukan *levitation* sedangkan pada tugas akhir ini digunakan gaya tolak magnet untuk melakukan *levitation*. [2]

Di dunia, pengaplikasian *magnetic levitation* menggunakan gaya tolak magnetis telah ditemukan oleh Crealev *levitation* design yang berlokasi di Belanda. Perusahaan ini telah mengeluarkan produk-produk antara lain “*floating display*”, “*floating lamp*”, produk tersebut juga memanfaatkan gaya tolak magnetis untuk melakukan *levitation*. [3].

Melihat banyaknya penggunaan gaya magnet yang digunakan di lingkungan sekarang ini diharapkan studi *magnetic levitation* yang memanfaatkan gaya tolak magnetis dapat memberikan referensi dan langkah – langkah yang dibutuhkan untuk membuat *magnetic levitation*.

II. LANDASAN TEORI

A. Gaya Magnetik Pada Ring Magnet

Ring magnet digunakan untuk menghasilkan gaya angkat pada benda yang akan dilevitasi. Akan tetapi juga menghasilkan gaya yang dihasilkan juga menghasilkan gaya horizontal akibat dari perubahan fluks magnet. [4]. Besarnya medan magnet yang dihasilkan oleh ring magnet dapat diperoleh dari [5] :

$$B = \frac{Br}{2} \left[\frac{D+z}{\sqrt{Ra^2 + (D+z)^2}} - \frac{z}{\sqrt{Ra^2 + z^2}} - \left(\frac{D+z}{\sqrt{Ri^2 + (D+z)^2}} - \frac{z}{\sqrt{Ri^2 + z^2}} \right) \right] \quad (1)$$

Dimana :

B = Kerapatan Fluks Magnetik

Br = *Residual Flux Density*

D = Tebal Ring Magnet

z = Jarak antara Luas Kutub dan Medan Magnet pada Suatu Titik

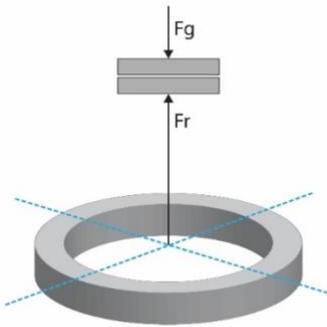
Ra = Jari – Jari Luar Ring Magnet

Ri= Jari – Jari Dalam Ring Magnet

Sedangkan gaya yang terjadi pada magnet yang dilevitasikan dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Fr = \frac{(B^2 A)}{2\mu_0} \quad (2)$$

A adalah luas permukaan dari kutub dan μ_0 permeabilitas udara.



Gambar 1 Gaya Ideal *Magnetic Levitation*

B. Gaya Magnetik Pada Kumaran

Gaya magnetik yang dialami oleh objek dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain [6] :

1. Bentuk dan kerapatan medan magnet yang dihasilkan elektromagnet
2. Letak objek saat berada di medan magnet
3. Peletakan magnet yang berada dalam objek

Besarnya kerapatan medan magnet yang dihasilkan kumaran dapat diperoleh dengan persamaan [4]:

$$B = \frac{\mu_0 I L N}{4\pi d^2} \quad (3)$$

Dan besarnya gaya pada kumaran adalah:

$$F = \frac{\mu_0 I^2 N^2 L^2}{4\pi d^2} \quad (4)$$

Dimana :

B = Kerapatan medan magnet

μ_0 = Permeabilitas inti

I = Arus yang melalui kumaran

L = Panjang kawat

N = Jumlah lilitan

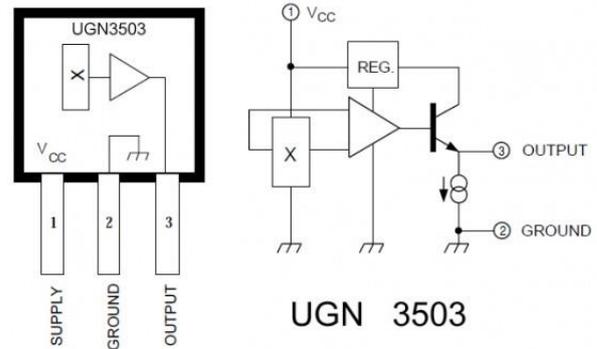
d = Jarak antara kumaran dengan objek

C. Sensor *Hall-Effect*

Sensor *Hall Effect* adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi medan magnet. Sensor ini akan menghasilkan tegangan yang proporsional dengan kekuatan medan magnet yang diterima. Sensor ini terdiri dari lapisan silikon yang memiliki fungsi untuk mengalirkan arus listrik dan dua buah elektroda pada setiap sisi silikon. Ketika lapisan silikon dialiri arus listrik maka akan menghasilkan perbedaan tegangan output.

Semakin besar medan magnet yang mempengaruhi maka akan menyebabkan pembelokan arus pada lapisan silikon

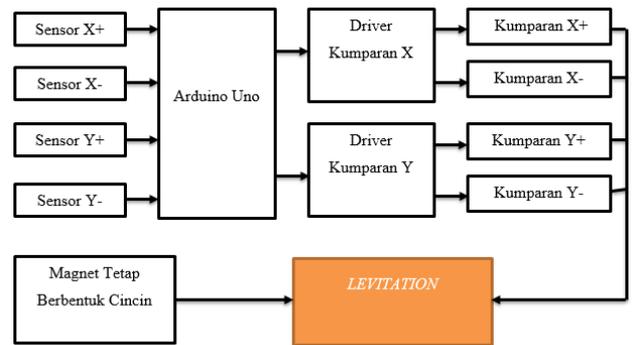
semakin besar dan akan menyebabkan perbedaan tegangan yang semakin besar pada setiap sisinya. Arah pembelokan arus digunakan untuk mengetahui polaritas kutub sensor itu sendiri. Sensor *Hall Effect* ini dapat bekerja jika satu sisi silikon dipengaruhi medan magnet. Oleh sebab itu jika kedua sisi silikon dipengaruhi medan magnet yang mempengaruhi maka tegangan outputnya tidak dapat berubah [7].



Gambar 2 Hall effect sensor UGN3503 [8]

III. PERENCANAAN SISTEM

A. Garis Besar Sistem

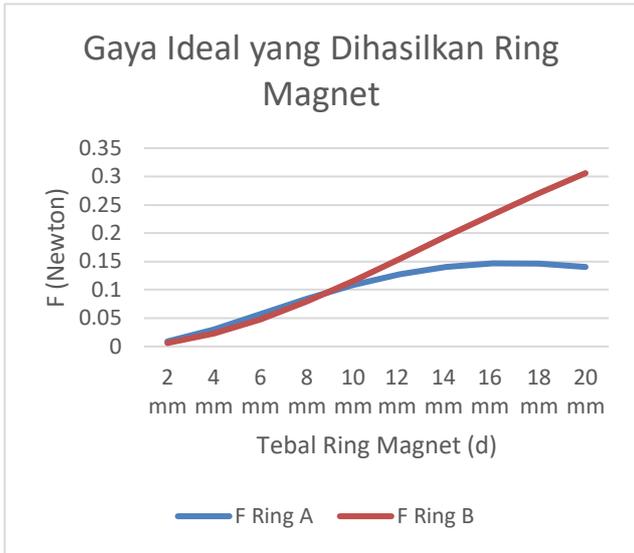


Gambar 3 Blok Diagram Desain *Magnetic Levitation*

Dalam sistem *magnetic levitation* digunakan empat buah sensor yang kemudian dikontrol menggunakan Arduino yang kemudian nilai perhitungan Arduino akan menjadi input bagi driver kumaran yang bersama -sama dengan magnet tetap agar menghasilkan *levitation*.

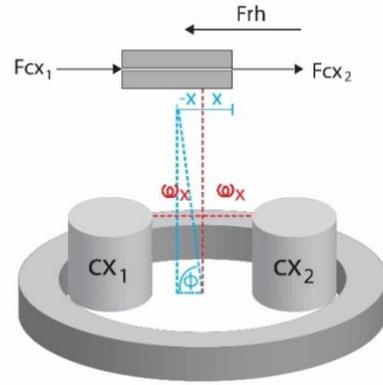
B. Desain Ring Magnet (Magnet Tetap yang Disusun Menyerupai Cincin)

Perancangan ring magnet dilakukan pada tugas akhir ini dilakukan untuk mengetahui ukuran ring magnet yang diperlukan agar dapat memberikan gaya angkat yang cukup untuk melevitasikan objek. Ring magnet akan disusun menggunakan sejumlah magnet *neodymium* kelas N35 berbentuk persegi panjang berukuran 40 x 10 x 2 (mm). Maka akan ditinjau gaya yang dihasilkan oleh ring magnet yang terdiri dari 8 buah dan 12 buah magnet berbentuk persegi panjang dengan tebal dari magnet yang berbeda – beda. Untuk menghasilkan bentuk menyerupai cincin maka magnet yang dibutuhkan minimal sebanyak 8 buah.

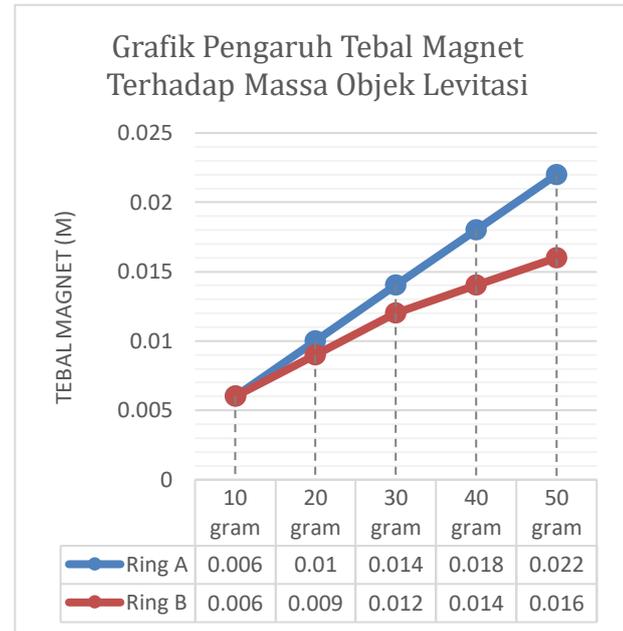


Gambar 4 Grafik Gaya Ideal yang Dihasilkan Ring Magnet

Maka dapat di ketahui bahwa gaya yang dihasilkan ring magnet dipengaruhi oleh tebal dari ring magnet itu dan luas kutub dari ring magnet. Tebalnya ring magnet juga mempengaruhi massa objek dan ketinggian optimum objek untuk melakukan levitasi. Untuk mengangkat benda bermassa tertentu dengan ketinggian setinggi 2 cm diperlukan ring magnet dengan ketebalan yang berbeda.



Gambar 6 Gaya Horizontal yang Terjadi Pada Sistem

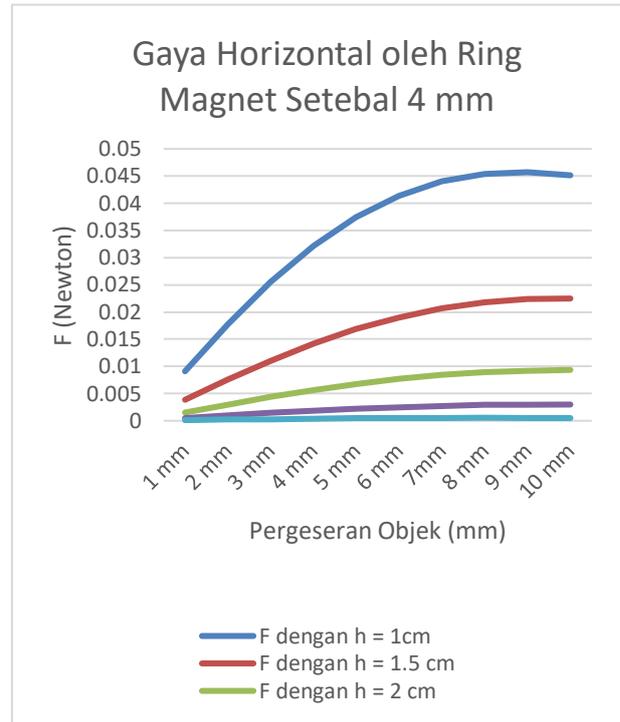


Gambar 5 Grafik Pengaruh Tebal Ring Magnet untuk Melevitasikan Objek Setinggi 2cm dengan Massa Bervariasi

Dari gambar 5 terlihat bahwa semakin besar massa objek yang akan dilevitasi maka semakin tebal pula ring magnet yang digunakan.

C. Desain Kumparan

Perhitungan gaya yang dihasilkan oleh sepasang kumparan yang nilainya akan sebanding dengan gaya horizontal dihasilkan oleh ring magnet.



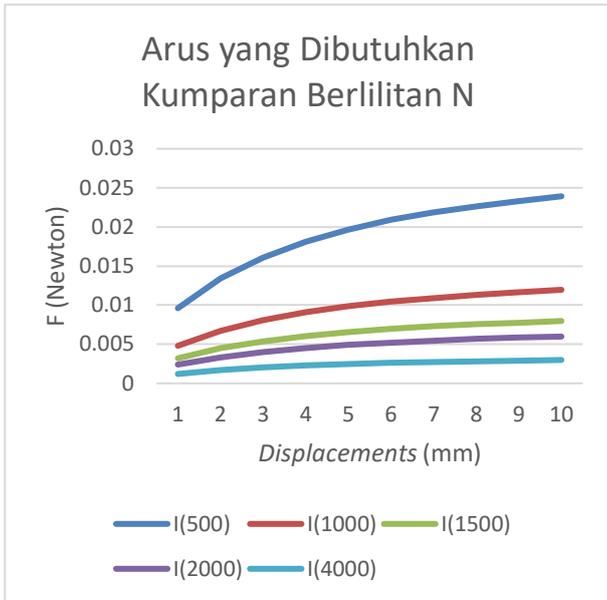
Gambar 7 Grafik Gaya yang Dihasilkan Ring Magnet Secara Horizontal dengan Ketinggian Objek yang Berbeda

Maka besarnya Frh diperoleh dari :

$$Frh = Fa + Fb \tag{5}$$

$$Frh = \frac{\mu_0 I^2 N^2 A}{\sqrt{(h_1 - h_2)^2 + (\omega_x + x)^2}} + \frac{\mu_0 I^2 N^2 A}{\sqrt{(h_1 - h_2)^2 + (\omega_x - x)^2}} \tag{6}$$

Dari persamaan (6) maka dapat diketahui bahwa besarnya gaya yang dihasilkan dipengaruhi oleh arus yang mengalir pada kumparan. Semakin besar arus yang mengalir pada kumparan maka semakin besar gaya yang dihasilkan oleh kumparan akan semakin besar.

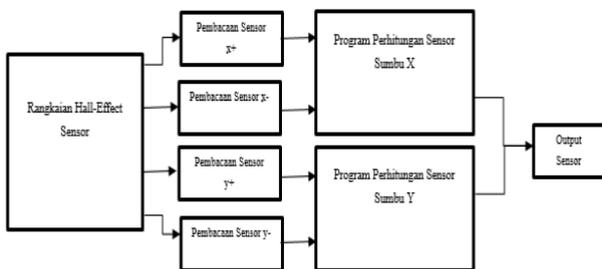


Gambar 8 Grafik Arus yang Dibutuhkan Kumparan pada saat Mengalami Pergeseran pada Ketinggian 1 cm

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa semakin sedikit jumlah lilitan maka arus yang dibutuhkan akan semakin besar. Arus juga menjadi semakin besar apabila pergeseran yang terjadi semakin besar. Grafik diatas adalah arus yang dibutuhkan dalam 1 sumbu horizontal saja. Karena kumparan yang dibuat menggunakan kawat yang panjangnya sama maka diasumsikan bahwa arus yang dibutuhkan kumparan sumbu x dan kumparan sumbu y identik.

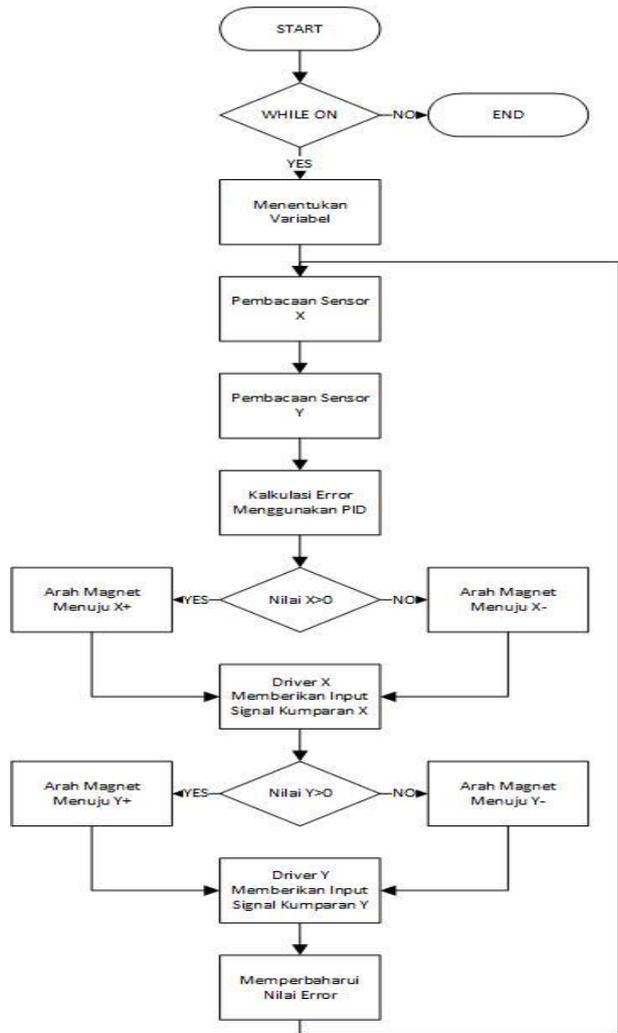
D. Desain Sensor Hall-Effect

Sensor yang digunakan pada magnetic levitation digunakan untuk mengukur letak benda secara horizontal. Magnetic levitation ini menggunakan empat buah sensor. Sepasang sensor akan membaca letak magnet yang dilevitasikan dalam sumbu x-horizontal dan yang lain akan membaca letak magnet yang dilevitasikan dalam sumbu y-horizontal sehingga diasumsikan bahwa pembacaan sensor mewakili masing – masing kumparan. Hasil pembacaan dari keempat sensor akan diproses ke dalam program perhitungan yang ada dalam Arduino.



Gambar 9 Bagan Cara Kerja Sensor Hall-Effect

E. Flowchart Sistem Magnetic Levitation



Gambar 10 Flowchart Sistem Magnetic Levitation

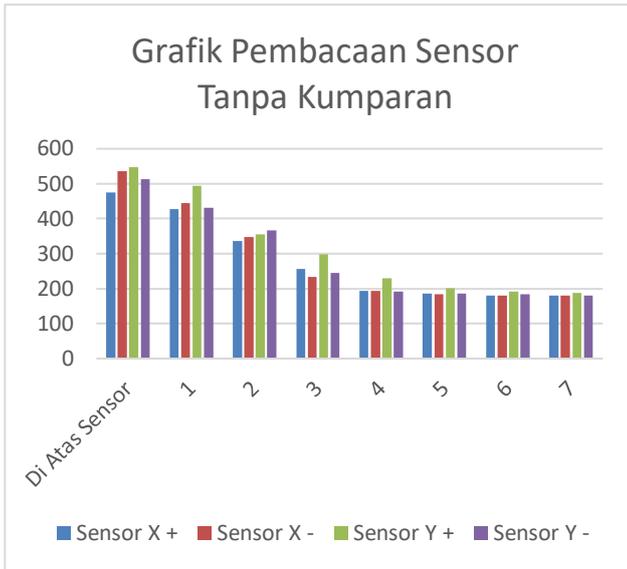
IV. PENGUJIAN SISTEM

Pengujian untuk sistem magnetic levitation dilakukan sebagai berikut:

- Pengujian hasil pembacaan sensor tanpa kumparan.
- Pengujian hasil pembacaan sensor menggunakan kumparan
- Pengujian pengaruh hasil pembacaan sensor terhadap polaritas kutub pada kumparan.
- Pengujian arah medan magnet pada magnet tetap kotak yang disusun menyerupai cincin.
- Pengujian kerapatan medan magnet pada magnet tetap kotak yang disusun menyerupai cincin.

A. Pengujian Hasil Pembacaan Sensor Tanpa Kumparan

Pengujian hasil pembacaan sensor tanpa kumparan bertujuan untuk dapat mengetahui perbandingan pembacaan masing - masing sensor terhadap objek yang dilevitasikan menggunakan pembacaan serial dari Arduino Uno. Objek akan diletakan 2 cm diatas sensor. Dengan mengetahui pembacaan masing – masing sensor maka kita dapat menyimpulkan letak dan perbedaan range pembacaan masing – masing sensor.



Gambar 11 Grafik Pembacaan Sensor Tanpa Kumparan

Dari gambar 11 dapat diketahui adanya perbedaan pada pembacaan setiap sensor. Apabila objek yang dilevitasikan menjauhi *hall-effect* sensor maka nilai pembacaan sensor akan semakin kecil. Oleh sebab itu sistem dapat mengetahui letak objek yang dilevitasikan. Sensor yang dipasang berhadapan akan menyebabkan pembacaan dari sensor x+ dan sensor x- akan bertolak belakang. Semakin besar nilai pembacaan sensor x+ maka semakin kecil nilai pembacaan sensor x- dengan begitu dapat disimpulkan apabila nilai x+ > x- maka letak objek berada lebih dekat dengan sensor x+.

B. Pengujian Hasil Pembacaan Sensor Menggunakan Kumparan

Pengujian hasil pembacaan sensor dengan kumparan bertujuan untuk mengetahui pengaruh kumparan yang diberikan arus sebesar satu ampere pada hasil pembacaan sensor. Pengujian dilakukan dengan melakukan pengujian terhadap sebuah sensor saja. Berikut adalah tabel dari perbandingan pengujian sensor y- tanpa kumparan dan dengan kumparan berarus 1A serta persentase dari selisih pembacaan sensor.

Tabel 1 Pembacaan Sensor Dengan Kumparan

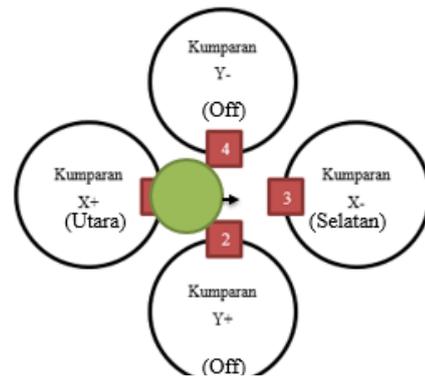
Sensor Y-		Selisih Pembacaan
Tanpa Kumparan	Dengan Kumparan	
513	533	4%
432	485	12%
367	388	6%
244	273	12%
192	197	3%
186	187	1%
184	185	1%
180	183	2%
Persentase Rata - Rata Selisih =		6%
Persentase Selisih dalam Voltase =		0.3

Dari tabel 1 persentase perbedaan pembacaan sensor adalah sebesar 6% yang berarti 0,3 V untuk setiap pembacaannya. Karena persentase perbedaan yang relatif kecil hal ini dapat diabaikan.

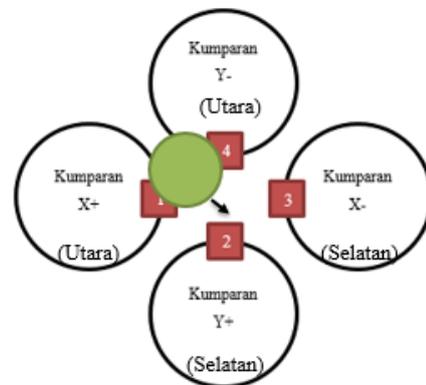
C. Pengujian Pengaruh Hasil Pembacaan Sensor Terhadap Polaritas Kutub Pada Kumparan

Hasil pembacaan sensor berhubungan erat dengan polaritas kutub pada kumparan. Prinsip awal untuk melakukan levitasi yang stabil yaitu dengan cara menempatkan objek yang dilevitasikan agar selalu berada di tengah – tengah kumparan. Pengujian dilakukan dengan menempatkan objek yang dilevitasikan secara manual secara bergantian pada masing – masing sensor. Nilai dari pembacaan sensor akan berpengaruh pada arah arus pada kumparan. Dari arah arus tersebut maka polaritas kutub dari kumparan dapat berubah – ubah. Pergerakan objek akan mewakili polaritas kutub dari kumparan tersebut. Apabila objek yang dilevitasikan mendekati sensor X+ maka kumparan X+ akan dialiri arah arus yang menghasilkan kutub utara untuk menolak objek sedangkan kumparan X- akan menghasilkan kutub selatan untuk menarik objek. Berikut adalah ilustrasi pergerakan objek yang dilevitasikan sesuai dengan pengujian yang telah dilakukan.

D. Pengujian Arah Medan Magnet pada Magnet Tetap Kotak



Gambar 12 Pergerakan Magnet dan Polaritas Kutub Kumparan Diatas Sensor 1

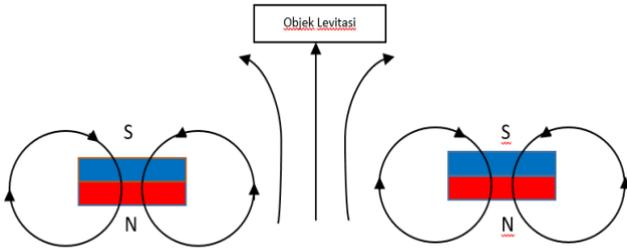


yang Disusun Menyerupai Cincin

Gambar 13 Pergerakan dan Polaritas Kutub Kumparan Diatas Sensor 1 dan 4

Untuk dapat melakukan levitasi, magnet tetap yang diletakan di sekitar kumparan harus memiliki arah medan

magnet yang menyerupai magnet cincin. Oleh sebab itu magnet tetap yang telah dibentuk menyerupai cincin akan di uji arah medan magnetnya menggunakan kompas.



Gambar 14 Kegunaan Arah Medan Magnet Tetap pada Levitasi

Arah medan magnet akan selalu bergerak dari kutub utara ke kutub selatan yang akan menyebabkan arah medan magnet ke atas pada inti dari magnet cincin tersebut yang akan menghasilkan gaya angkat untuk melakukan levitasi.

E. Pengujian Kerapatan Medan Magnet pada Magnet Tetap Kotak yang Disusun Menyerupai Cincin

Pengujian ini dilakukan untuk membandingkan nilai hasil perhitungan desain dengan hasil pengukuran menggunakan Teslameter. Penggunaan magnet kotak dan disusun menyerupai ring magnet perlu ditinjau kembali karena adanya faktor yang menyebabkan ring magnet yang terbentuk dari magnet kotak tidak dapat sempurna, terdapat sedikit celah yang muncul diantara pertemuan kedua magnet kotak tersebut.

Tabel 2 Tabel Perbandingan Kerapatan Medan Magnet

	Perhitungan	Pengukuran
h (cm)	B (Tesla)	B (Tesla)
1	0.006713726	-0.0056
1.5	0.005224921	-0.0038
2	0.003654042	-0.0028
2.5	0.002193576	-0.00135
3	0.000958897	-0.00063

Dapat terlihat adanya perbedaan hasil perhitungan dan hasil pengukuran, perbedaan disebabkan oleh bentuk yang tidak identik sama. Hal ini memengaruhi besarnya nilai kerapatan medan magnet yang dihasilkan. Persentase penurunan hasil perhitungan dan pengukuran rata – rata adalah sebesar 27.99%.

V. KESIMPULAN

- Gaya angkat terhadap objek levitasi yang dihasilkan ring magnet dipengaruhi oleh tebal dan diameter dari ring magnet. Semakin tebal ring magnet yang digunakan maka akan semakin besar gaya yang dihasilkan dan semakin kecil diameter ring magnet maka semakin besar gaya yang dihasilkan.
- Gaya yang dihasilkan oleh kumparan dipengaruhi oleh besarnya arus yang melewati kawat email dan banyaknya

lilitan pada kumparan. Semakin besar arus yang melewati kawat email maka gaya yang dihasilkan kumparan akan semakin besar dan semakin banyak lilitan pada kumparan maka semakin besar pula gaya yang dihasilkan oleh kumparan.

- Pembacaan *hall-effect* sensor pada sistem saat terpengaruh kumparan dengan arus 1 A memiliki selisih rata – rata sebesar 6% tidak memberikan perbedaan yang besar dalam pembacaan letak objek levitasi.
- Nilai K_p sebesar 150, K_i sebesar 0, dan K_d sebesar 90 menunjukkan bahwa kumparan mampu membuat objek kembali ke setpoint yang ditentukan secara horizontal akan tetapi tidak dapat membuat objek melakukan levitasi.
- Magnet yang dibentuk menyerupai cincin dengan diameter luar 11.5 cm dan diameter dalam 9.5 cm mampu mengangkat benda seberat 25 gram akan tetapi tidak dapat memperoleh kestabilan secara horizontal yang menyebabkan objek levitasi selalu tertarik ke samping.
- Penggabungan dari kumparan dan ring magnet belum mampu untuk melevitasi objek levitasi.

VI. REFERENCES

[1] Yulastri, *Aplikasi Sensor UGN3505 Sebagai Pendeteksi Medan Magnet*, Juni 2009.

[2] A. Astono, "Magnetic Levitation dengan Kontrol PID Analog," 2009.

[3] "Crealev Levitation Design," [Online]. Available: <http://www.crealev.com/products/>. [Accessed 18 March 2015].

[4] J. Ballard, "A Fault Tolerant Control Approach to Magnetic Levitation," 2014.

[5] supermagnete, [Online]. Available: <http://www.supermagnete.de/eng/faq/How-do-you-calculate-the-magnetic-flux-density>. [Accessed 7 January 2016].

[6] B. Fransiskus, *Sistem Kendali Posisi Berbasis Levitasi Magnetik*, 2012.

[7] "Hall Effect Sensor," [Online]. Available: <http://www.electronicstutorial.ws/electromagnetism/hall-effect.html>. [Accessed 8 April 2015].

[8] T.K. Hareendran, "RPM Sensor Module For Robotics w/ UGN3503," [Online]. Available: <http://www.electroschematics.com/10888/rpm-sensor-module-robotics/>. [Accessed 17 5 2015].