G-Tech
Jurnal Teknologi Terapan

F.SAINTEK Unira Malang | Vol. 4 | No. 2
April, 2021
P-ISSN 2580-8737, E-ISSN 2623-064X

SISTEM KENDALI LEVITASI MAGNETIK REPULSIF MENGGUNAKAN METODE PROPORTIONAL-INTEGRAL-DERIVATIVE (PID)

Sutoko
Politeknik UNISMA Malang
sutokok220@gmail.com

ABSTRAK

Sifat dasar kemagnetan membuat teknik levitasi menjadi dimungkinkan, namun terdapat perbedaan mendasar jika dibandingkan dengan sifat kelistrikan. Pada interaksi antar muatan listrik, diketahui bahwa muatan yang sama akan saling menolak, sementara muatan yang berlawanan akan saling menarik. Karena adanya muatan listrik bersih, maka levitasi elektris bisa dimungkinkan. Pada interaksi magnetis dimungkinkan melakukan levitasi dengan lebih mudah melalui modifikasi medan magnet. Modifikasi ini bisa dilakukan melalui sistem kendali dan perangkat elektromagnet, seperti induktor. Tanpa sistem kendali, levitasi magnetis hanya bisa dilakukan menggunakan bahan diamagnetis. Saat ini bahan diamagnetis yang memiliki efek paling besar adalah superkonduktor. Selain mahal, temperatur superkonduktor harus dibuat sangat rendah sehingga tidak praktis dipakai dalam teknik levitasi. Pada penelitian ini akan dikembangkan sebuah teknik levitasi magnetis yang bersifat repulsif menggunakan sistem kendali *proportional-integral-derivative* (PID). Sistem yang dikendalikan berupa kekuatan efektif elektromagnet dalam menstabilkan objek yang ditolak oleh kutub magnet permanen sehingga tetap berada pada posisi dan orientasi yang sama. Hasil yang telah didapatkan adalah proses levitasi magnetik repulsif berhasil secara optimum mempertahankan objek magnet neodimium dengan ketinggian 4 mm selama 5 detik menggunakan nilai Kp sebesar 1 dan nilai Kd sebesar 1,5.

Kata kunci: Levitasi Magnetik Repulsif, Sistem Kendali, Mikrokontroler, PID

ABSTRACT

The nature of magnetism makes levitation techniques possible, but there are fundamental differences when compared to the nature of electricity. In the interaction between electric charges, it is known that the same charges will repel each other, while opposite charges will attract each other. Because there is a clean electric charge, electrical levitation is possible. In magnetic interactions it is possible to levitate more easily through modification of the magnetic field. This modification can be done through control systems and electromagnetic devices, such as inductors. Without a control system, magnetic levitation can only be done using diamagnetic materials. At present the diamagnetic material which has the greatest effect is superconductors. Besides being expensive, superconducting temperatures must be made so low that they are not practical in levitation techniques. This research will develop a magnetic levitation technique that is repulsive using a proportional-integral-derivative (PID) control system. The system is controlled in the form of the effective power of electromagnets in stabilizing objects rejected by permanent magnetic poles so that they remain in the same position and orientation. The results obtained are that the repulsive magnetic levitation process successfully optimally maintains neodymium magnetic objects with a height of 4 mm for 5 seconds using a Kp value of 1 and a Kd value of 1.5.

Keywords: *Repulsive Magnetic Levitation, Control System, Microcontroller, PID*

PENDAHULUAN

Fenomena levitasi (pengambangan di udara) telah memikat para filsuf selama berabad-abad dan telah menarik banyak perhatian para ilmuwan belakangan ini sebagai cara menghilangkan gesekan atau kontak fisik. Sementara bidang kendaraan darat tanpa gesekan juga menerapkan suspensi dan levitasi untuk transportasi darat berkecepatan tinggi yang telah mendapat perhatian besar. Terlepas dari metode yang digunakan, pelayangan kendaraan (terutama kereta api) dianggap dengan sebutan "*maglev*", dari kata *magnetic levitation* atau pengambangan magnetis.

Sifat dasar kemagnetan membuat teknik levitasi menjadi dimungkinkan, namun terdapat perbedaan mendasar jika dibandingkan dengan sifat kelistrikan. Pada interaksi antar muatan listrik, diketahui bahwa muatan yang sama akan saling menolak, sementara muatan yang berlawanan akan saling menarik. Karena adanya muatan listrik bersih, maka levitasi elektris bisa dimungkinkan. Hanya saja terdapat masalah besar, yaitu dua objek yang berbeda muatan akan segera menyamakan muatannya, sehingga levitasi elektris hanya bisa terjadi pada waktu yang terlalu singkat (Durmus *et al,* 2015). Pada interaksi magnetis dimungkinkan melakukan levitasi dengan lebih mudah melalui modifikasi medan magnet. Modifikasi ini bisa dilakukan melalui sistem kendali dan perangkat elektromagnet, seperti induktor. Tanpa sistem kendali, levitasi magnetis hanya bisa dilakukan menggunakan bahan diamagnetis. Saat ini bahan diamagnetis yang memiliki efek paling besar adalah superkonduktor. Selain mahal, tem-peratur superkonduktor harus dibuat sangat rendah sehingga tidak praktis dipakai dalam teknik levitasi.

Pada penelitian ini akan dikembangkan sebuah teknik levitasi magnetis yang bersifat repulsif menggunakan sistem kendali *proporsional-integral-derivative* (PID). (Vukić, Kuljača, Đonlagić, & Tešnjak, 2003) (Terrell, 1999) Sistem yang dikendalikan berupa kekuatan efektif elektromagnet dalam menstabilkan objek yang ditolak oleh kutub magnet permanen sehingga tetap berada pada posisi dan orientasi yang sama. Sebuah mikrokontroler ATmega328 (Heath, 2003) (Arduino - Introduction, 2018) (Banzi, 2011) digunakan untuk mengendalikan medan magnet yang dibangkitkan oleh elektromagnet, dengan membaca data dari sensor *Hall effect.*

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas yang telah ditulis sebelumnya maka pada penelitian ini memiliki beberapa permasalahan yang akan diteliti:

1. Bagaimana melakukan analisis medan magnet dan gaya yang terlibat pada sistem levitasi magnetis bersifat repulsif.
2. Bagaimana melakukan manajemen pemutusan dan penyambungan arus pada elektromagnet secara elektronik berdasarkan nilai dari sensor.
3. Bagaimana membuat satu purwarupa perangkat sistem kendali untuk menerapkan levitasi magnetis repulsif.

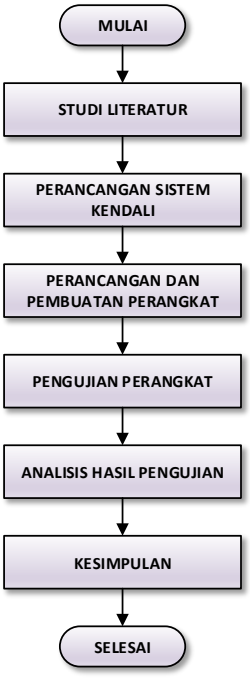
Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan analisis medan magnet dan gaya yang terlibat pada sistem levitasi magnetis bersifat repulsif.
2. Membuat purwarupa perangkat sistem kendali untuk menerapkan levitasi magnetis repulsif.
3. Menguji nilai parameter PID yang paling optimal pada sistem levitasi magnetis repulsif yang telah dibangun.

METODE PENELITIAN

Pada Gambar 1 ditunjukkan diagram alir dari langkah-langkah yang digunakan dalam pene-litian ini.



Gambar 1. Diagram Alir Metode Penelitian.

Sesuai dengan Gambar 1, beberapa langkah yang akan dilakukan pada penelitian ini antara lain:

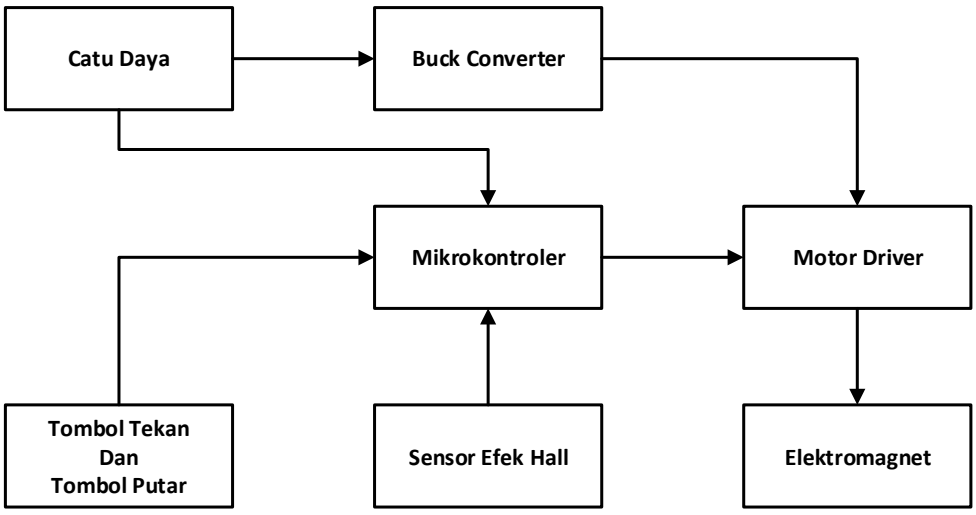
1. Studi literatur, yaitu mengumpulkan literatur dari buku, e-book, jurnal, dan beberapa laporan hasil penelitian.
2. Perancangan sistem kendali, yaitu melakukan perancangan sistem yang akan dibuat secara umum.
3. Perancangan dan pembuatan perangkat, yaitu melakukan perancangan perangkat keras maupun perangkat lunak pendukungnya berdasarkan hasil rancangan sistem kendali. Setelah itu dilakukan beberapa langkah pembuatan berurutan sebagai berikut:
   a. Perancangan sistem kendali;
   b. Perancangan perangkat keras pengendali;
   c. Perakitan perangkat keras pengendali;
   d. Pembuatan perangkat lunak pengendali.
4. Pengujian perangkat, yaitu melakukan pengujian pada perangkat untuk mengetahui performanya. Kemudian dilakukan pengambilan data sesuai dengan beberapa kondisi pengujian yang disediakan. Data yang telah diambil untuk digunakan pada langkah berikutnya.
5. Analisis hasil pengujian, yaitu melakukan analisis data untuk mengetahui performa perangkat yang dibangun.
6. Kesimpulan.

Kerangka Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian sistem kendali ini ditunjukkan pada Gambar 2, dengan elemen-elemen yang berbeda, antara lain:

1. Catu daya;
2. Buck converter;
3. Mikrokontroler utama;
4. Motor driver;
5. Sensor efek Hall;
6. Elektromagnet; dan
7. Antarmuka dengan operator (tombol tekan dan tombol putar).

Pada rancangan konsep perangkat yang akan dibangun, sensor efek Hall akan mendeteksi kekuatan medan magnet pada bagian atas dari elektromagnet (Tomo *et al*, 2016). Kekuatan medan magnet ini sangat dipengaruhi oleh posisi objek magnet neodimium yang berada di atasnya beserta orientasinya (Jin *et al,* 2018). Hal ini dapat terjadi karena sensor ini adalah berupa *ratio metric*, yaitu mampu mendeteksi kekuatan analog medan magnet beserta arahnya (kutub). Berdasarkan nilai sensor yang masuk ke ADC pada mikrokontroler, sebuah nilai batas ditentukan yang mana akan menjadi acuan pada pengendali PID. Konstanta Kp dan Kd diatur oleh operator menggunakan tombol putar, sementara konstanta Ki tidak dipakai (dibiarkan bernilai nol). Nilai *error* dan nilai derivatif dari *error* akan dimasukkan pada persamaan PID, kemudian mikrokontroler akan menghitung keluarannya (Kuantama *et al*, 2017). Nilai keluaran tersebut dipakai untuk memberikan nilai PWM pada *motor driver* yang akan dinaikkan tegangannya untuk dialirkan pada elektromagnet (beserta arah kutubnya), sehingga mengaktifkan medan magnet tambahan di bawah objek. Hal ini akan menstabilkan objek sehingga mampu melayang tanpa harus tertarik terlalu ke bawah atau tertolak terlalu ke atas.



Gambar 2. Rancangan Konsep Perangkat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Kalibrasi Sensor Hall

Sensor efek Hall pada penelitian ini menggunakan jenis *ratiometric* atau analog. Kalibrasi yang dilakukan sudah menggunakan nilai ADC 10 bit yang dimiliki oleh pin analog dari Arduino (Radman & Radonjić, 2017). Nilai ADC berkisar antara 0 (mewakili tegangan kendali 0 V) hingga 1023 (mewakili tegangan kendali 5 V). Pada Tabel 1 ditunjukkan hasil uji kalibrasi sensor efek Hall.

Tabel 1. Kalibrasi Sensor Hall

Kondisi	Nilai ADC 10 bit		
	Min	Max	Mean
Tak ada medan	480	480	480
Max (+) EM	525	535	530
Max (-) EM	427	434	430.5
Neod.di tempat	530	560	545
Neod. ke bawah	550	700	625
Neod. Menempel	820	820	820

Dari hasil pengujian pada Tabel 1 tersebut telah didapatkan nilai netral pada sensor sebesar 480, yaitu ketika tidak ada medan magnet yang mengganggu. Nilai ini dekat dengan nilai tengah ADC yaitu 511. Hal ini menunjukkan bahwa nilai tengah kalibrasi sensor berada pada 480, dan kemudian telah dimasukkan pada program. Ketika elektromagnet diberikan kekuatan penuh pada polaritas positif (kutub utara di atas), didapatkan nilai ADC maksimum sebesar 535. Nilai tersebut adalah nilai positif jika dibandingkan dengan nilai netral, yang menunjukkan sensor berlaku dengan arah yang benar (Silva *et al*, 2015). Sedangkan ketika elektromagnet diberikan kekuatan penuh pada polaritas negatif (kutub selatan di atas), didapatkan nilai ADC minimum sebesar 427. Nilai tersebut adalah nilai negatif jika dibandingkan dengan nilai netral.

Ketika objek neodimium berada di tempat yang ditentukan, yaitu sekitar 50 mm dari atas sensor, maka didapatkan bacaan ADC yang berkisar antara 530 hingga 560. Nilai rata-ratanya lebih besar daripada nilai ADC ketika elektromagnet berada pada polaritas positif dengan kekuatan maksimum, yang menyatakan bahwa medan magnet dari elektromagnet akan hanya sedikit mengganggu efektivitas sensor terhadap objek (Antosia *et al*, 2020).

Nilai ADC berkisar antara 550 hingga 700 ketika objek diturunkan ke arah bawah. Nilai ADC maksimum ketika objek benar-benar menempel pada sensor adalah 820.

Semua hasil pengujian tersebut menandakan bahwa sensor telah berhasil mendeteksi medan magnet dengan baik dan telah dilakukan kalibrasi sehingga nilai untuk *set point* yang bisa diatur kini dibatasi pada program antara 480 hingga 820 (Azharul, 2021).

Uji Perilaku Utama

Perilaku utama perangkat adalah uji terakhir yang dilakukan, yaitu untuk mengetahui keberhasilan melakukan pengambangan atau levitasi objek magnet neodimium pada tempat yang telah ditentukan, yaitu sekitar 5 mm di atas sensor dan elektromagnet.

Tabel 2. Hasil Uji dengan *Set Point* 530

Kp	Kd	Tinggi (mm)	Getaran	Bertahan (s)
0	0	-	-	0
0	0.5	-	-	0
0	1	-	-	0
0	1.5	-	-	0
0.5	0	5	tinggi	2
0.5	0.5	5	tinggi	2
0.5	1	5	tinggi	2
0.5	1.5	5	sedang	3
1	0	5	tinggi	1
1	0.5	5	sedang	2
1	1	5	sedang	4
1	1.5	5	sedang	4
1.5	0	-	-	0
1.5	0.5	-	-	0
1.5	1	5	tinggi	1
1.5	1.5	5	tinggi	1

Karena keterbatasan waktu, pada pengujian ini dilakukan dua macam *set point*, yaitu 530 dan 560. Sedangkan nilai Kp dan nilai Kd dikombinasikan antara nilai 0; 0,5; 1; dan 1,5.

Pengujian dilakukan setelah nilai ADC sensor benar-benar telah terkalibrasi sempurna dan nilai tengahnya (netral ketika tidak ada gangguan medan magnet) adalah 480. Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian dengan nilai *set point* sebesar 530. Sedangkan nilai *set point* 560 diuji dengan hasil seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji dengan *Set Point* 560

Kp	Kd	Tinggi (mm)	Getaran	Bertahan (s)
0	0	-	-	0
0	0.5	-	-	0
0	1	-	-	0
0	1.5	-	-	0
0.5	0	5	tinggi	2
0.5	0.5	4	tinggi	2
0.5	1	4	tinggi	2
0.5	1.5	4	tinggi	3
1	0	4	tinggi	1
1	0.5	4	sedang	2
1	1	4	sedang	4
1	1.5	4	rendah	5
1.5	0	-	-	0
1.5	0.5	4	tinggi	1
1.5	1	4	tinggi	1
1.5	1.5	4	tinggi	1

Dari hasil pengujian pada Tabel 2 dan Tabel 3 telah didapatkan bahwa pada nilai Kp sebesar nol tidak ada satu pun yang berhasil. Kemudian pada nilai Kp 0,5 didapatkan bahwa semakin tinggi nilai Kd maka getaran yang dihasilkan semakin rendah dan keberhasilan meningkat sedikit (untuk nilai *set point* 530) namun getaran yang dihasilkan tetap saja pada nilai set point 560.

Nilai Kp sebesar 1 menunjukkan hasil terbaik yang ada, yaitu dengan nilai Kd sebesar 1,5 dan set point 560, di mana getaran yang dihasilkan masih ada namun cukup rendah, dan objek berhasil mempertahankan levitasi hingga selama 5 detik. Pada percobaan nilai Kp dan Kd lainnya, rata-rata sebesar 2 detik levitasi didapatkan sebelum objek jatuh ke samping. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai Kp sebesar 1 dan nilai Kd sebesar 1,5 adalah nilai terbaik untuk jangkauan dalam penelitian ini. Sedangkan rata-rata jarak levitasi dari sensor yang paling stabil adalah setinggi 4 mm.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil analisis pada penelitian ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Telah berhasil dibuat sebuah perangkat levitasi repulsif magnetik yang menggunakan konstelasi 8 magnet permanen dan satu elektromagnet dan dikendalikan oleh mikrokontroler dengan metode PID.
2. Telah berhasil dilakukan demonstrasi levitasi sebuah objek magnet neodimium pada ketinggian 4 mm dan bertahan selama 5 detik dengan menggunakan nilai set point 560, nilai Kp 1, dan nilai Kd 1,5.

Saran

Saran yang bisa diberikan dari penelitian ini adalah:

1. Pada penelitian berikutnya diharapkan dapat dilakukan percobaan dengan nilai set point yang lebih bervariasi serta nilai Kp maupun Kd yang lebih besar jangkauannya.
2. Pada penelitian berikutnya diharapkan dapat dikembangkan perangkat levitasi mag-netik repulsif dengan menggunakan konstelasi yang berbeda untuk meningkatkan sta-bilitas pengambangan objek.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dapat terlaksana dengan baik atas dukungan dari Politeknik UNISMA Malang.

REFERENSI

Antosia, R. M., Ryacudu, J. T., Hui, W., Agung, J., & Selatan, K. L. (2020). Voltmeter Design Based On Ads1115 And Arduino Uno For Dc Resistivity Measurement. J. Teknol. *Rekayasa*, 5(1), 2019-73.

Arduino - Introduction. (2018, 7 15). Retrieved from Arduino: https://www.arduino.cc/en/guide/introduction

Azharul, F. (2021). RANCANG BANGUN ALAT KALIBRASI PENGUKUR SUHU BERBASIS DIGITAL TEMPERATUR CONTROLLER. TEKNOSAINS: *Jurnal Sains, Teknologi dan Informatika*, 8(2), 109-116.

Banzi, M. (2011). *Getting Started with Arduino.* Sebastopol: O'Reilly Media.

Durmus, N. G., Tekin, H. C., Guven, S., Sridhar, K., Yildiz, A. A., Calibasi, G., ... & Demirci, U. (2015). Magnetic levitation of single cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(28), E3661-E3668.

Heath, S. (2003). *Embedded Systems Design.* Massachusetts: Newnes.

Jin, H., Afiuny, P., Dove, S., Furlan, G., Zakotnik, M., Yih, Y., & Sutherland, J. W. (2018). Life cycle assessment of neodymium-iron-boron magnet-to-magnet recycling for electric vehicle motors. *Environmental science & technology*, 52(6), 3796-3802.

Kuantama, E., Vesselenyi, T., Dzitac, S., & Tarca, R. (2017). PID and Fuzzy-PID control model for quadcopter attitude with disturbance parameter. *International journal of computers communications & control*, 12(4), 519-532.

Radman, V., & Radonjić, M. (2017). Arduino-based system for soil moisture measurement. In Proc. *22nd Conference on Information Technologies IT* (Vol. 17, pp. 289-292).

Silva, S., Soares, S., Valente, A., & Marcelino, S. T. (2015, July). Digital sound processing using arduino and MATLAB. In 2015 *Science and Information Conference (SAI)* (pp. 1184-1191). IEEE.

Terrell, W. (1999). *Some Fundamental Control Theory I: Controllability, Observability, and Duality.* The American Mathematical Monthly.

Tomo, T. P., Somlor, S., Schmitz, A., Jamone, L., Huang, W., Kristanto, H., & Sugano, S. (2016). Design and characterization of a three-axis hall effect-based soft skin sensor. *Sensors*, 16(4), 491.

Vukić, Z., Kuljača, L., Đonlagić, D., & Tešnjak, S. (2003). *Nonlinear Control Systems.* New York: Marcel Dekker.