

PENINGKATAN UNJUK KERJA KENDALI PELAYANGAN OBJEK PADA MODEL SISTEM PENGANGKATAN MAGNETIK YANG DITERAPKAN PADA ALAT BANTU AJAR TEKNOLOGI ELEKTROMEKANIK

Rizki Pradana¹⁾, Noval Lilansa²⁾, Wahyudi Purnomo³⁾

^{1,2,3)}Politeknik Manufaktur Negeri Bandung

Jl Kanayakan No. 21 – Dago, Bandung - 40135

Phone/Fax : 022. 250 0241 / 250 2649

Email: rpsrizki@gmail.com

Abstrak

Menurut *New Dictionary of Cultural Literacy* definisi pelayangan magnetik adalah proses pelayangan sebuah objek terhadap suatu acuan menggunakan medan magnet. Sistem pelayangan magnetik ini banyak digunakan di dunia industri dan transportasi, contohnya adalah *magnetic bearing* dan *Maglev Train*. Sistem pelayangan magnetik banyak digunakan karena sistem ini memiliki banyak kelebihan, yaitu dapat mengurangi gesekan dan suara bising yang biasa muncul pada komponen-komponen yang saling berkontak. Oleh sebab itu energi yang hilang dan kemungkinan rusaknya komponen akibat gesekan dapat dikurangi. Sehingga sistem ini sangat penting untuk dipelajari. Penelitian-penelitian tentang pengendalian pengangkatan magnetik menyatakan bahwa sistem pengangkatan magnetik merupakan sistem yang kompleks. Kompleksitas sistem ini berada pada konstruksinya yang membutuhkan kumparan pada bahan *ferromagnetic*, gerakan yang dihasilkan memiliki enam derajat kebebasan, dan respon sistem yang dihasilkan merupakan respon sistem tak linier. Oleh karena itu, sistem pelayangan magnetik ini perlu dimodelkan untuk menyederhanakan kompleksitasnya. Model pengangkatan magnetik yang ditingkatkan unjuk kerjanya merupakan alat bantu ajar teknologi elektromagnetik berupa sistem pengangkatan magnetik yang telah berhasil mengangkat objek pada jarak 2 mm sampai 8 mm dari ujung kumparan. Namun, model ini masih memiliki kekurangan, salah satunya adalah sistem ini belum dapat mengendalikan posisi dan kecepatan pelayangan objek dengan respon yang memadai. Oleh sebab itu, unjuk kerja kendali pelayangan objek pada model tersebut perlu ditingkatkan. Unjuk kerja yang ditingkatkan adalah meningkatkan kecepatan, dan akurasi posisi pelayangan magnetik untuk mencapai *setpoint* dengan respon yang memadai. Metode yang digunakan adalah *PID* yang berbeda dari *PID* sebelumnya, yaitu suatu pengendalian *loop* tertutup dengan konstanta *PID* yang berbeda pada setiap *setpoint*-nya. Pengendalian menggunakan metode ini mampu mengendalikan pelayangan objek bermassa 0.25kg pada model pengangkatan magnetik dengan nilai *error* 10% dalam waktu maksimal 5 detik dengan respon yang memadai pada jarak 2mm – 9mm, sedangkan model sebelumnya mampu mengangkat objek bermassa 0.222kg dengan respon yang kurang memadai pada jarak 2mm-8mm.

Kata kunci: *Magnetic levitation, pelayangan magnetik, sistem kendali, PID.*

1. Pendahuluan

Menurut *New Dictionary of Cultural Literacy* definisi pelayangan magnetik adalah proses pelayangan sebuah objek terhadap suatu acuan menggunakan medan magnet. Contoh penggunaan sistem ini adalah *magnetic bearing* yang digunakan pada *flywheel*, poros turbin pembangkit tenaga listrik, spindel mesin-mesin perkakas berkecepatan putar tinggi, dan sistem *Maglev Train*. Sistem pelayangan magnetik banyak digunakan karena sistem ini dapat mengurangi gesekan dan suara bising yang biasa muncul pada komponen-komponen yang saling

berkontak. Oleh sebab itu energi yang hilang dan kemungkinan rusaknya komponen akibat gesekan dapat dikurangi, sedangkan kecepatannya yang dihasilkan sistem ini akan lebih tinggi dibandingkan dengan sistem mekanisme konvensional.

Penelitian-penelitian tentang pengendalian pengangkatan magnetik menyimpulkan bahwa sistem pengangkatan magnetik merupakan sistem yang kompleks. Kompleksitas sistem ini disebabkan konstruksi yang kompleks karena sistem ini membutuhkan kumparan pada bahan *ferromagnetik* untuk menghasilkan gaya magnet.

Gerakan yang dihasilkan oleh sistem ini juga memiliki enam derajat kebebasan. Selain itu, kompleksitas sistem ini terdapat pada pengendaliannya karena respon sistem pengangkatan magnetik yang dihasilkan adalah respon yang taklinier. Oleh karena itu, sistem pengangkatan magnetik ini perlu dimodelkan untuk menyederhanakan kompleksitasnya, dan agar sistem ini dapat diterapkan sebagai alat bantu ajar teknologi elektromekanik untuk dipelajari.

Berdasarkan latar belakang tersebut muncullah beberapa permasalahan, yaitu bagaimana membatasi pergerakan pengangkatan magnetik, bagaimana pengendalian sistem pengangkatan magnetik agar respon yang dihasilkan memadai, dan bagaimana antarmuka yang dibuat untuk sistem pengangkatan magnetik agar dapat diterapkan sebagai alat bantu ajar teknologi elektromagnetik.

Model pengangkatan magnetik ini diharapkan dapat diterapkan sebagai alat bantu ajar teknologi elektromagnetik, dan mahasiswa/peserta didik dapat mempelajari bagaimana konversi energi listrik menjadi energi mekanik, dan dapat memahami bagaimana cara mengendalikan respon sistem pengangkatan magnetik dengan adanya model sistem pengangkatan magnetik ini.

Penelitian Terdahulu

Berbagai penelitian tentang pengangkatan magnetik telah banyak dilakukan baik di Indonesia maupun di luar negeri. Jenis-jenis pengendalian yang telah digunakan oleh beberapa peneliti terdahulu untuk mengendalikan pelayangan objek pada sistem pengangkatan magnetik adalah metoda pengendalian *Single Input Single Output (SISO)*^[1], PID^[2], dan PWM^[3].

Penelitian yang terbaru dan akan menjadi acuan penelitian ini adalah penelitian yang dilakukan oleh Inan Layyinan dengan judul "Rancang Bangun Model Sistem Pengangkatan Magnetik Sebagai Alat Bantu Ajar Praktikum Teknologi Elektromekanik Berbasis Instrumen Virtual".^[6] Penelitian ini menghasilkan suatu model pengangkatan magnetik yang mampu mengangkat objek dengan massa 0.222 kg pada jarak 2 mm sampai 8 mm dari ujung kumparan dengan metoda pengendalian PID. Model ini juga dilengkapi dengan antarmuka berbasis instrument virtual yang dibuat menggunakan LabVIEW. Namun model ini memiliki

kekurangan, diantaranya adalah rangkaian sensor posisi yang kurang aktual dalam merepresentasikan tegangan sebagai posisi objek yang diangkat, rangkaian sensor kecepatan yang digunakan tidak dapat menampilkan kecepatan aktual pergerakan objek, dan respon yang dihasilkan belum memadai karena pada model ini K_p , K_i , K_d yang diatur berlaku untuk semua *set point* yang diberikan. Sedangkan sistem pengangkatan magnetik bukan sistem yang linear.

Pada penelitian ini unjuk kerja model sistem pengangkatan magnetik akan ditingkatkan. Peningkatan unjuk kerja meliputi peningkatan massa objek yang diangkat, rangkaian posisi, dan kecepatan yang mampu mengeluarkan tegangan yang merepresentasikan posisi, dan kecepatan secara aktual, juga sistem pengendalian yang mampu mengendalikan sistem pengangkatan objek dengan respon yang memadai. Model sistem pengangkatan magnetik ini juga dilengkapi antarmuka yang dapat diterapkan sebagai alat bantu ajar teknologi elektromekanik.

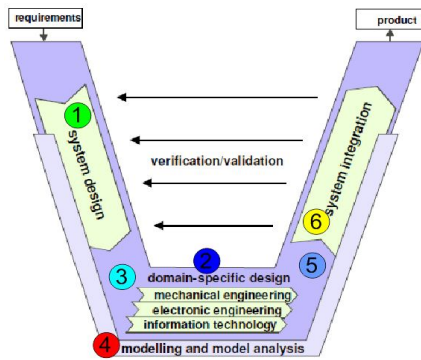
2. Metodologi Penelitian

Model sistem pengangkatan magnetik terdiri dari kumparan elektromagnet, sensor posisi dan kecepatan sebagai umpan balik, pengendali, dan antarmuka. Kumparan elektromagnetik digunakan untuk melayangkan objek berupa besi dengan massa 0.25 kg pada posisi yang ditentukan (*set point*). Untuk mengetahui posisi objek digunakan sensor *foto-reflektor* TCRT5000L. Sedangkan sensor kecepatan berupa lilitan yang diletakkan pada objek, dengan magnet permanen yang ditempatkan di tengah lilitan tersebut, dan tidak dapat bergerak. Hasil pengukuran sensor posisi akan digunakan sebagai umpan balik yang akan diolah oleh pengendali PID dengan nilai K_p , K_i , dan K_d yang khusus bagi setiap *set point* yang ditentukan. Sehingga respon yang tak linear dapat dikendalikan oleh pengendalian PID. Perangkat lunak LabVIEW yang didukung perangkat keras akuisisi data NI DAQ USB 6218 digunakan untuk membangun sistem antarmuka yang akan diterapkan sebagai alat bantu ajar teknologi elektromekanik.

Pada dasarnya sistem yang dibuat terdiri dari sistem kendali, mekanik, elektrik, dan informatik. Pada bagian kendali, dibuat sebuah kendali yang dirancang untuk melayangkan objek pada posisi *set point* pada sistem yang tak linier. Sistem mekanik yang dibuat berupa

model pengangkatan magnetik dengan satu derajat kebebasan. Pada bagian elektrik dirancang suatu rangkaian penggerak kumparan, rangkaian pengkondisi sinyal sensor posisi, dan rangkaian pengujian sensor kecepatan. Sedangkan pada bagian informatik dibangun sebuah antarmuka sekaligus sebagai pengendali dengan menggunakan perangkat lunak LabVIEW.

Untuk merancang sistem mekatronik yang lebih baik dari sebelumnya digunakan *tools* VDI 2206 dengan acuan tidak lebih rendah dari perancangan model system pengangkatan magnetik terdahulu. Tahapannya terdiri dari *requirements product, analyse and raw design, domain-specific design* yang terdiri dari elektrik, mekanik, dan kontrol, *modeling and model analysis, integration, validation and verification* dan yang terakhir adalah integrasi sistem.[7] Penerapan model ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Penerapan model VDI 2206 untuk model sistem pengangkatan magnetik.

1. *Products Requirements*

Pada tahap ini tugas dan fungsi dari sistem yang digunakan dijelaskan. Pada tahap perancangan, hal yang dilakukan adalah merancang model sistem pengangkatan magnetik agar tuntutan kerja dapat dipenuhi. Tuntutan kerja yang harus terpenuhi dapat dilihat pada table 1. Daftar spesifikasi tuntutan ini menjadi acuan dalam pemilihan komponen yang digunakan.

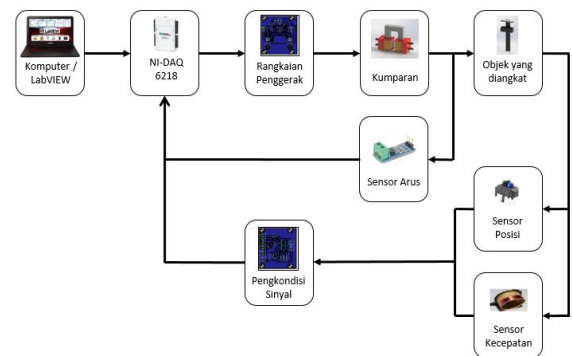
Tabel 1. Daftar tuntutan kerja

No	Tuntutan	Spesifikasi
1	Pemodelan konstruksi	a. Dapat merealisasikan fungsi sistem pengangkatan magnetik b. Objek bergerak translasi dengan satu derajat kebebasan.

2	Antarmuka	a. Mudah dipahami, dan digunakan oleh pengguna b. Merepresentasikan sistem yang dibuat
3	Proses	a. Melayangkan objek pada ketinggian 2-8 mm. b. Beban massa yang dilayangkan adalah 0.25 kg

2. *AnalysisRaw Design*

Tahapan ini menjelaskan mengenai konsep awal dari sistem berupa gambaran sistem secara umum. Gambaran sistem secara umum ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Gambaran sistem secara umum.

3. *Domain-Specific Design*

Proses ini bertujuan untuk menghubungkan domain dari perancangan ke desain spesifik dari sistem. Selain itu proses ini bertujuan sebagai fase rancangan alat dari hasil pemilihan varian solusi permasalahan sistem dalam pembuatan rancangan awal. Pada intinya konsep perancangan alat ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu perancangan perangkat keras, dan perangkat lunak. Perancangan perangkat keras terdiri dari perancangan perangkat keras mekanik dan elektrik. Perangkat keras mekanik terdiri dari kumparan berinti, pengarah untuk memastikan objek hanya bergerak translasi dengan satu derajat kebebasan, dan tiang penyangga. Kumparan dibuat dari kawat dengan diameter 0.65 mm dan jumlah lilitan 2400 lilitan. Tiang penyangga yang digunakan berbahan aluminium karena tidak akan terpengaruh oleh medan magnet yang dihasilkan kumparan. Perangkat keras elektrik terdiri dari rangkaian pengkondisi sinyal posisi, dan rangkaian pengujian sensor kecepatan yang dapat merepresentasikan

posisi dan kecepatan dalam betuk tegangan. Sedangkan perangkat lunak yang digunakan adalah LabVIEW untuk menyimpan program pengendalian maupun untuk pembuatan program antarmuka.

4. *Modeling and Model Analysis*

Tahapan ini memberikan penjelasan mengenai pemodelan dari sistem yang dibuat.

5. *Integration*

Pada tahapan ini dilakukan implementasi dari *domain-specific design*.

6. *Validation Verification*

Pada tahapan ini validasi dilakukan terhadap sistem yang telah dibuat, serta memverifikasi setiap hasil yang telah didapatkan.

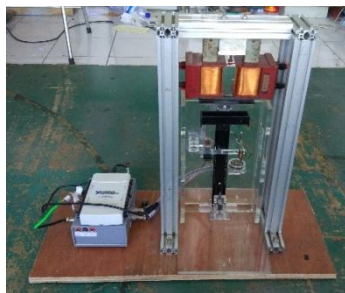
7. *Product*

Product adalah hasil dari implementasi pada *system integration*. Hasil dari implementasi tersebut berupa model pengangkatan magnetik secara keseluruhan.

3. Hasil dan Pembahasan

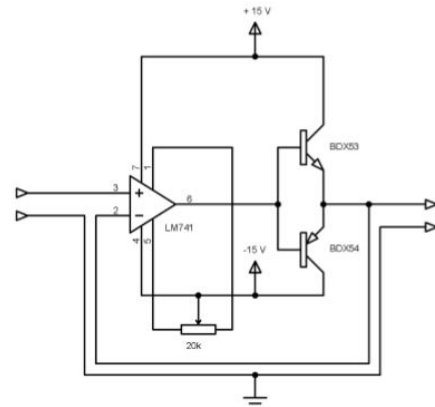
Pada bagian ini akan dijelaskan hasil implementasi yang sudah dijelaskan pada bagian 2 (Metodologi Penelitian). Hasil yang akan dibahas adalah model sistem pengangkatan magnetik yang telah dibuat, rangkaian penggerak kumparan, hasil pengujian rangkaian sensor posisi, hasil pengujian sensor kecepatan, dan grafik hasil pengendalian sistem pengangkatan magnetik, serta akan dijelaskan perbandingan model sistem pengangkatan magnetik sesudah dan sebelum ditingkatkan unjuk kerjanya.

Perangkat keras model sistem pengangkatan magnetik terdiri dari kumparan inti yang dililit dengan kawat berdiameter 0.65mm dengan jumlah lilitan 2400 lilitan. Perangkat keras model ini dapat dilihat pada gambar 3.



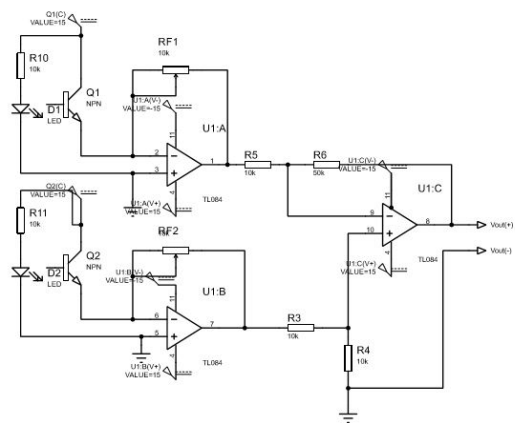
Gambar 3. Model sistem pengangkatan magnetik

Rangkaian penggerak kumparan ialah rangkaian pengikat tegangan dengan transistor komplementer seperti pada gambar 3.



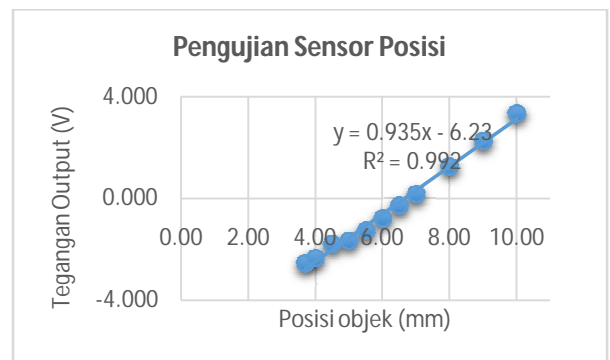
Gambar 3. Rangkaian penggerak kumparan.

Rangkaian yang digunakan sebagai pengkondisi sinyal sensor posisi dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian pengkondisi sinyal sensor posisi

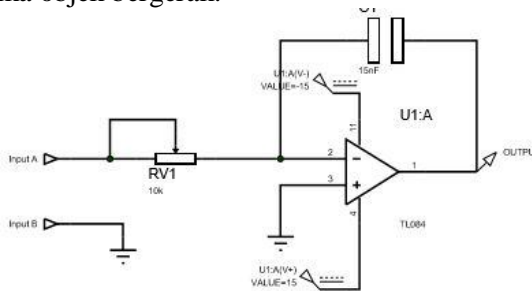
Grafik hasil pengujian rangkaian sensor posisi ini ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik hasil pengujian rangkaian pengkondisi sinyal sensor posisi

Pada gambar 5 ditunjukkan bahwa besar R^2 pada grafik tersebut adalah 0.9924, artinya bahwa perubahan tegangan sangat dipengaruhi oleh perubahan posisi objek.

Untuk menguji sensor kecepatan, rangkaian integrator yang dapat dilihat pada gambar 6 digunakan untuk mencari K_G dari sensor tersebut. Agar tegangan yang dikeluarkan oleh rangkaian itu merepresentasikan perubahan posisi dari sensor kecepatan. Input dari rangkaian tersebut berasal dari lilitan yang ditempelkan pada objek, sehingga akan bergerak ketika objek bergerak.



Gambar 6. Rangkaian pengujian sensor kecepatan

Tegangan *output* dari rangkaian integrator dapat dianalisa dengan persamaan

$$e_o = -\frac{1}{RC} \int_{x_0}^{x_1} e dt \tag{1}$$

Dengan

$$e = K_G \dot{x} \tag{2}$$

Maka

$$e_o = -\frac{1}{RC} \int_{x_0}^{x_1} K_G \frac{dx}{dt} dt \tag{3}$$

Setelah diuraikan, didapatkan persamaan untuk mencari K_G , yaitu pada persamaan (2)

$$K_G = -RC \frac{\Delta e_o}{\Delta x} \tag{4}$$

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian sensor kecepatan dengan rangkaian integrator. Pengujian dilakukan dengan menjatuhkan objek dari ketinggian yang berbeda.

Tabel 2. Hasil pengujian sensor kecepatan dan nilai K_G dari sensor.

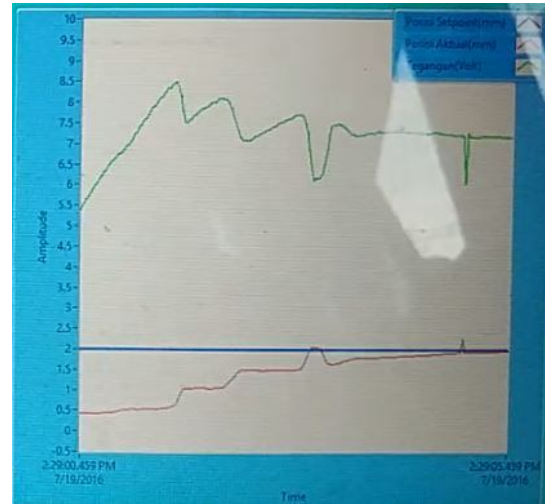
No	Δx (mm)	V_0 (V)	V_t (V)	ΔV (V)	KG
1	9	-12.5	11	23.5	9.24333E-06
2	7	-10.5	8	18.5	9.35571E-06
3	5	-5	8	13	0.000009204
4	3	5.5	13.3	7.8	0.000009204

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa nilai K_G adalah $\pm 9.2 \times 10^{-6}$. Maka berdasarkan persamaan (2) besar kecepatan adalah

$$e = K_G \dot{x} \tag{5}$$

$$\dot{x} = \frac{e}{K_G}$$

Setelah semua sensor diuji, respon sistem baru dapat diuji. Gambar 7 menunjukkan hasil respon sistem yang sudah dikendalikan oleh PID dengan *setpoint* yang berbeda dan nilai K_p , T_i , dan T_d yang berbeda pula setiap *setpoint*-nya.



Gambar 7. Respon sistem dengan *setpoint* 2 mm dengan nilai $K_p = 3$, $T_i = 3.5$ min, $T_d = 0.002$ min

Perbandingan antara model sistem pengangkatan magnetik sebelum dan sesudah ditingkatkan unjuk kerjanya dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan model sistem pengangkatan magnetik sebelum dan sesudah ditingkatkan unjuk kerjanya

No.	Sebelum	Sesudah
1	Tegangan output rangkaian sensor posisi tidak hanya dipengaruhi oleh perubahan posisi objek	Tegangan output rangkaian sensor posisi murni hanya dipengaruhi oleh perubahan posisi objek
2	Rangkaian sensor kecepatan tidak merepresentasikan kecepatan objek	Tegangan yang dihasilkan sensor kecepatan merepresentasikan kecepatan objek
3	Objek bermassa 0.222 kg	Objek bermassa 0.25 kg
4	Pengendalian PID hanya dengan satu nilai K_p , K_i , dan K_d untuk semua <i>setpoint</i>	Pengendalian PID menggunakan K_p , K_i , dan K_d yang berbeda pada masing-masing <i>setpoint</i> , karena respon yang tak linier dari sistem.

4. Kesimpulan

Dari hasil perancangan, pembuatan, pengujian serta perbandingan anatara model sistem pengangkatan magnetik sebelum dan sesudah ditingkatkan untuk kerja didapatkan kesimpulan yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Sensor posisi dengan rangkaian pada gambar 3 dapat merepresentasikan posisi objek yang dilayangkan menjadi tegangan.
2. Model sistem pengangkatan magnetik dapat melayangkan objek pada jarak 2-9 mm dari ujung kumparan dengan respon yang media
3. Antarmuka mudah model sistem pengangkatan magnetik mudah digunakan, dan dimengerti oleh pengguna, serta dapat merepresentasikan sistem pengangkatan magnetik.

Referensi/Daftar Pustaka

- [1] Sari, Elfira. (2007). *Perancangan Perangkat Sistem Pelayanan Magnetik (Magnetic Levitation)*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- [2] Kessler, R. *Magnetisches Traglager (Ein Experiment zur Regelungstechnik: Regelung einer instabilen Strecke)*. Diakses pada tanggal 22 November 2014. <http://www.home.hs-karlsruhe.de/~kero0001/magnet3.htm>.
- [3] Fransiskus, Bazoka. (2011). *Sistem Kendali Posisi Berbasis Levitasi Magnetik*. Depok: Universitas Indonesia.
- [4] Wikipedia. (2015). *Magnetic Levitation*. Diakses pada 6 November 2015, dari Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_levitation.
- [5] Tipler, P. A. (2001). *Fisika Untuk Sains dan Teknik, Volume 2*. Jakarta: Erlangga.
- [6] Layyinan, Inan. (2015). *Rancang Bangun Model Sistem Pengangkatan Magnetik Sebagai Alat Bantu Ajar Praktikum Teknologi Elektromekanik Berbasis Instrumentasi Virtual*. Bandung: Politeknik Manufaktur Negeri Bandung.
- [7] Jürgen Gausemeier and Stefan Moehringer. (2003). New Guideline VDI 2206 - A Flexible Procedure Model for the Design of Mechatronics Systems, International Conference on Engineering Design, ICED, Stockholm, Sweden.