

RANCANG BANGUN MODEL SISTEM PENGANGKAT MAGNETIK SEBAGAI ALAT BANTU AJAR PRAKTIKUM TEKNOLOGI ELEKTROMEKANIK BERBASIS INSTRUMEN VIRTUAL

Inan Layyinan, DR. Noval Lilansa, Dipl Ing (FH), MT, Wahyudi Purnomo, ST. MT

Teknik Elektromekanik, Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur

Politeknik Manufaktur Negeri Bandung

Jl. Kanayakan no.21, Bandung – 40135

ABSTRAK

Sistem bantalan magnetik telah digunakan dalam bidang permesinan dan transportasi. Penggunaan sistem bantalan yang dimaksud didorong beberapa kelebihan antara lain kemampuan bekerja tanpa pelumasan dan sentuhan dengan bidang penumpu/luncur. Selain itu, kemampuan lain yang dimiliki adalah pengendalian gerakan rotor/jangkar bantalan magnetik. Kelebihan ini membuat bantalan tersebut cocok digunakan pada mesin-mesin turbo, perkakas mesin akurasi tinggi dan bantalan luncur alat transportasi kecepatan. Oleh sebab itu, bantalan magnetik mendapatkan ruang penerapan yang semakin luas di bidang permesinan dan transportasi. Sistem pengangkat magnetik merupakan cikal bakal penerapan sistem bantalan magnetik. Salah satu kendala mempelajari sistem ini adalah kurangnya perangkat yang menggambarkan pengangkatan magnetik secara *real time* dan mudah dikembangkan untuk penelitian yang berkaitan. Pengangkatan magnetik pada umumnya menggunakan mikrokontroler yang didukung dengan antarmuka. Agar mikrokontroler dapat berkomunikasi dengan antarmuka maka kedua perangkat ini harus diprogram, sehingga membutuhkan program tambahan untuk bisa berkomunikasi. Berdasarkan hal tersebut maka dalam tugas akhir ini dikembangkan sistem pengangkatan magnetik berbasis instrumen virtual dengan kendali PID, sehingga mampu menggambarkan pengaruh kendali PID terhadap sistem pengangkatan magnetik secara *real time*, selain itu dengan penggunaan instrumen virtual maka hanya satu bagian saja yang diprogram.

Pengangkatan magnetik yang dibuat bergerak dengan satu derajat kebebasan. Perangkat lunak LabVIEW yang didukung dengan perangkat keras akuisisi data NI DAQ USB 6218 digunakan untuk membangun instrumentasi virtual. Objek yang diangkat berupa besi dengan massa 0,222 kg. Kumparan berinti sebagai penghasil medan magnet digunakan untuk mengangkat objek. Posisi objek diukur dengan menggunakan foto-reflektor TCRT5000. Hasil pengukuran sensor akan dibandingkan dengan nilai *set point* yang diinginkan. Setelah itu selisih dari perbandingan akan diolah dengan kendali PID, yang akan menghasilkan nilai tegangan sebagai pengatur kuat medan magnet kumparan agar posisi objek sesuai dengan nilai *set point*.

Hasil dari kendali PID yang terapkan telah berhasil mengangkat dan mempertahankan objek pada jarak 2-8 mm dari ujung kumparan sesuai dengan nilai *set point* yang diinginkan. Instrumentasi virtual yang telah dibangun mudah dimodifikasi sesuai tuntutan pengguna dan dapat digunakan sebagai alat bantu ajar praktikum.

Kata kunci: *Pengangkatan magnetik, instrumen virtual, PID*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem bantalan magnetik telah digunakan dalam bidang permesinan dan transportasi. Penggunaan sistem bantalan yang dimaksud didorong beberapa kelebihan antara lain kemampuan bekerja tanpa pelumasan dan sentuhan dengan bidang penumpu/luncur. Selain itu, kemampuan lain yang dimiliki adalah pengendalian gerakan rotor/jangkar bantalan magnetik. Kelebihan ini membuat bantalan tersebut cocok digunakan pada mesin-mesin turbo, perkakas mesin akurasi tinggi dan bantalan luncur alat transportasi kecepatan. Oleh sebab itu, bantalan magnetik mendapatkan ruang penerapan yang semakin luas di bidang permesinan dan transportasi. Sistem pengangkat magnetik merupakan cikal bakal penerapan sistem bantalan magnetik.

Sistem pengangkat magnetik merupakan cikal bakal penerapan sistem bantalan magnetik. Dengan menggunakan sistem pengangkat tersebut obyek menjadi terangkat dan melayang dengan celah tertentu terhadap inti magnetik. Dengan mempelajari fenomena pelayangan dan pengendalian celah yang dimaksud mahasiswa/peserta didik akan mendapatkan pemahaman tentang fenomena melayangnya objek dan metode pengendalian celah terhadap perlakuan pada bantalan magnetik.

Rancang bangun model sistem pengangkat magnetik sebagai alat bantu ajar praktikum teknologi elektromekanik berbasis instrumen virtual menggunakan modul NI DAQ USB 6218 sebagai perangkat keras akuisisi data dan LabVIEW sebagai perangkat lunak instrumentasi virtual sekaligus sebagai antarmuka program dengan pengguna. Dengan terwujudnya alat bantu ajar ini diharapkan mahasiswa mendapat

pemahaman metode dasar tentang fenomena melayangnya objek dan metode pengendalian celah terhadap perlakuan pada bantalan magnetik. Selain itu, mahasiswa diharapkan mampu memahami mekanisme konversi energi listrik menjadi mekanik serta menentukan keterkaitannya. Lebih jauh, diharapkan agar memahami pengendalian lebar celah udara dengan menggunakan pengendali PID.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, ada beberapa masalah yang dapat diidentifikasi antara lain perancangan sistem elektromekanik yang cocok untuk bahan ajar praktikum, pengendalian kuat medan magnet, dan perancangan antarmuka yang cocok digunakan untuk bahan ajar praktikum.

Perancangan sistem elektromekanik yang cocok untuk bahan ajar praktikum kaitannya dengan sistem pengangkatan magnetik yang mudah digunakan dan dikembangkan oleh pengguna, sehingga bisa membantu proses pembelajaran. Pengendalian kuat medan magnet yang dihasilkan digunakan untuk mengangkat beban pada posisi tertentu dan mempertahankannya agar mampu melawan gaya gravitasi. Hal ini berkaitan dengan hukum Biot-Savart yang menyatakan besar medan magnet tergantung pada jumlah lilitan, permeabilitas bahan dan luas penampang lilitan. Perancangan atarmuka yang cocok digunakan untuk bahan ajar kaitan dengan sistem instrumen virtual yang bisa meyerupai instrumen tradisional.

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Merancang bangun sistem pengangkat magnetik yang dapat diterapkan pada meja praktikum teknologi elektromekanik.
2. Merancang bangun sistem pengendalian kuat medan magnet.
3. Merancang bangun atarmuka yang cocok digunakan untuk bahan ajar praktikum.

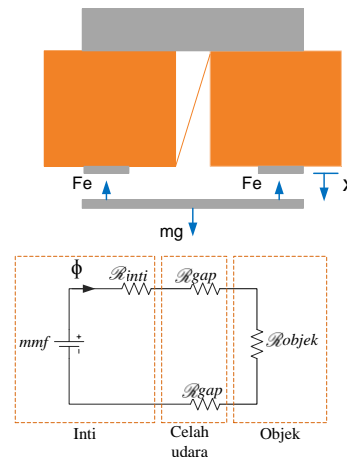
1.4 Batasan Masalah

Melihat kompleksitas masalah yang dihadapi dalam rancang bangun model pengangkat magnetik sebagai alat bantu ajar praktikum teknologi elektromekanik berbasis instrumen virtual ini, maka perlu dibatasi ruang lingkup tugas akhir ini. Sehingga kajian menjadi terarah. Berikut ini beberapa batasan yang digunakan.

1. Penelitian tugas akhir ini rancang bangun model pengangkat magnetik dengan satu derajat kebebasan.
2. Material objek yang diangkat adalah bahan feromagnetik dengan permeabilitas tertentu.
3. Kendali yang di implementasikan adalah kendali PID.

II. PEMODELAN SISTEM PENGANGKATAN MAGNETIK

Pemodelan sistem pengangkatan magnetik dilakukan dengan menggunakan metoda lagrange, selain itu gaya elektromagnet ditentukan dari energi yang ada pada induktor. Penurunan metode ini didasarkan pada asumsi bahwa distribusi medan magnet sangat ideal dan induktansi kumparan bervariasi secara linear dengan jarak antara objek yang diangkat dengan kumparan.



Gambar 1 Model Sistem Pengangkatan Magnetik dan rangkaian pengganti magnetik

- F_e = gaya elektromagnetik (N)
- m = massa objek(kg)
- g = percepatan gravitasi bumi(m/s^2)
- R_{inti} = Reluktansi inti magnetik (I/H)
- R_{objek} = Reluktansi objek (I/H)
- R_{gap} = Reluktansi celah udara (I/H)
- l_{inti} = panjang lintasan inti magnetik(m)
- l_{objek} = panjang lintasan objek(m)
- A_{inti} = luas penampang inti megnetik(m^2)
- A_{objek} = luas penampang objek(m^2)
- A_{gap} = luas celah udara(m^2)
- x = jarak objek terhadap inti magnetik(m)

$$F_e = -\frac{\partial W_m}{\partial x} \quad (1)$$

$$W_m = \frac{1}{2} L(x) i^2 \quad (2)$$

$$L_x = \frac{NN}{R_{tot}} \quad (3)$$

$$R_{tot} = R_{inti} + R_{objek} + 2R_{gap} \quad (4)$$

$$L(x) = \frac{k_1}{k_2 + k_3 x} \quad (5)$$

$$\frac{\partial L(x)}{\partial x} = -\frac{k_4}{(k_2 + k_3 x)^2} \quad (6)$$

Lagrangian electric:

$$\ddot{q} = \frac{1}{L(x)} \left[u + \frac{k_4}{(k_2 + k_3 x)^2} \dot{q} \dot{x} - R \dot{q} \right] \quad (7)$$

Lagrangian mekanik:

$$m\ddot{x} = \frac{k_4}{2} \left[\frac{i^2}{(k_2 + k_3x)^2} \right] + mg \quad (8)$$

Mendefinisikan *state variable*

$$x_1 = x \text{ (posisi)}$$

$$x_2 = \dot{x} \text{ (kecepatan)}$$

$$x_3 = i \text{ (Arus)}$$

kontrol *input* $u = v$ dan *output* $y = x_1$

Maka diperoleh *state model* dari persamaan (7) dan (8).

$$\dot{x}_1 = x_2$$

$$\dot{x}_2 = g - \frac{k_4}{2m} \frac{x_3^2}{(k_2 + k_3x_1)^2}$$

$$\dot{x}_3 = \frac{1}{L(x_1)} \left[u + \frac{k_4 x_2 x_3}{(k_2 + k_3x)^2} - R x_3 \right]$$

$$y = x_1$$

Nonlinear *state model* diatas dapat ditulis

$$\dot{x} = f(x) + g(x)u$$

$$y = h(x)$$

$$f(x) = \begin{bmatrix} x_2 \\ g - \frac{k_4}{2m} \frac{x_3^2}{(k_2 + k_3x_1)^2} \\ \frac{k_4 x_2 x_3}{(k_2 + k_3x)^2} - R x_3 \end{bmatrix}$$

$$g(x) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{k_1}{(k_2 + k_3x_1)} \end{bmatrix}$$

$$h(x) = x_1$$

Linearisasi dan Transfer Fungsi

Nonlinear *state model* dilinearkan pada posisi *equilibrium* dengan menggunakan linearisasi Jacobi sebagai berikut.

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$y = Cx$$

dengan matrik

$$A = \left[\frac{\partial F(x, u)}{\partial x} \right] = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1(x, u)}{\partial x_1} & \frac{\partial F_1(x, u)}{\partial x_2} & \frac{\partial F_1(x, u)}{\partial x_3} \\ \frac{\partial F_2(x, u)}{\partial x_1} & \frac{\partial F_2(x, u)}{\partial x_2} & \frac{\partial F_2(x, u)}{\partial x_3} \\ \frac{\partial F_3(x, u)}{\partial x_1} & \frac{\partial F_3(x, u)}{\partial x_2} & \frac{\partial F_3(x, u)}{\partial x_3} \end{bmatrix}$$

$$B = \left[\frac{\partial F(x, u)}{\partial u} \right] = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1(x, u)}{\partial u} \\ \frac{\partial F_2(x, u)}{\partial u} \\ \frac{\partial F_3(x, u)}{\partial u} \end{bmatrix}$$

$$C = \left[\frac{\partial h(x)}{\partial x} \right]$$

Dengan,

$$F(x, u) = [F_1(x, u) \quad F_2(x, u) \quad F_3(x, u)]^T = f(x) + g(x)u$$

Parameter plant yang digunakan dalam simulasi ditunjukkan pada tabel 1

Tabel 1 Parameter sistem untuk simulasi

Symbol	Nilai/Alias	Unit
$A_{gap} = A_{objek}$	2×10^{-3}	$[m^2]$
A_{inti}	$2,7 \times 10^{-4}$	$[m^2]$
k_1	$NN \mu_0 \mu_{inti} A_{inti} A_{gap}$	$[H/m^3]$

k_1	$4,82799 \times 10^{-3}$	$[H/m^3]$
k_2	$l_{inti} A_{gap} + l_{objek} A_{inti}$	$[H/m^3]$
k_3	$4,4881 \times 10^{-4}$	$[H/m^3]$
k_4	$2\mu_{inti} A_{inti}$	$[H/m^3]$
k_5	1,62	$[H/m^3]$
k_6	$2NN \mu_0 \mu_{inti}^2 A_{inti}^2 A_{gap}$	$[H/m^3]$
k_7	$7,82134 \times 10^{-3}$	$[H/m^3]$
l_{inti}	224×10^{-3}	$[m]$
l_{objek}	3×10^{-3}	$[m]$
L_n	269×10^{-3}	$[H]$
m	0,222	$[kg]$
N	1540	$[-]$
R	14	$[\Omega]$
x_1^e	4×10^{-3}	$[m]$
x_1^0	4×10^{-3}	$[m]$
x_2^0	0	$[m/s]$
x_3^0	0,16351	$[A]$
μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$	$[T.m/A]$
$\mu_{inti} = \mu_{objek}$	3000	$[-]$

Dengan menggunakan parameter pada tabel 1 maka matriks menjadi

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 4587,29 & 0 & -119,993 \\ 0 & 38,2297 & -20,0919 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1,43513 \end{bmatrix}$$

$$C = [1 \quad 0 \quad 0]$$

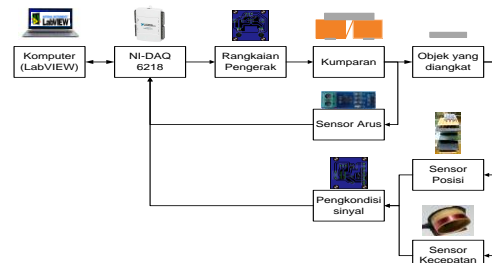
Maka didapat transfer fungsi sebagai berikut.

$$G(s) = C(sI - A)^{-1}B + D$$

$$G(s) = \frac{-172,206}{s^3 + 20,0919s^2 - (3,63798 \times 10^{-12})s - 92167,2}$$

III. PERANCANGAN SISTEM

Pengangkatan magnetik berbasis instrumen virtual dengan kendali PID terdiri dari kumparan elektromagnet, sensor posisi sebagai umpan balik, pengendali dan antarmuka. Kumparan elektromagnet digunakan untuk mengangkat objek berupa besi dengan massa 0,222 Kg pada posisi tertentu. Untuk mengetahui posisi objek digunakan sensor foto-reflektor TCRT5000. Hasil pengukuran sensor akan digunakan untuk sebagai umpan balik dan dibandingkan dengan nilai *set point* yang diinginkan. Setelah itu selisih dari perbandingan akan diolah dengan kendali PID, yang akan menghasilkan nilai tegangan sebagai pengatur kuat medan magnet kumparan agar posisi objek sesuai dengan *set point* yang diinginkan. Perangkat lunak LabVIEW yang didukung perangkat keras akuisisi data NI DAQ USB 6218 digunakan untuk membangun instrumentasi virtual sekaligus sebagai antarmuka.



Gambar 2 Diagram blok sistem

Sistem Pengangkatan Magnetik terdiri dari beberapa blok seperti yang ditunjukkan pada gambar 2 *set point* posisi objek yang yang diinginkan oleh pengguna akan di olah oleh LabVIEW dengan kendali PID selanjutnya hasil pengolahan akan di eksekusi oleh NI-DAQ 6218 melalui analog output dengan memberikan tegangan masukan pada rangkaian penggerak sebagai pengikut tegangan selanjutnya akan menginduksi kumparan dan menghasilkan medan magnet yang digunakan untuk mengangkat objek sesuai dengan jarak yang diinginkan. Sensor posisi sebagai umpam balik digunakan untuk memastikan bahwa posisi objek sesuai dengan posisi yang diinginkan pengguna, sedangkan sensor kecepatan dan arus digunakan untuk mengetahui kecepatan objek dan arus yang dibutuhkan untuk mengangkat objek kaitannya dengan posisi yang diinginkan.

Selama proses, NI-DAQ 6218 dan sensor arus membutuhkan tegangan sebesar 5 VDC sedangkan sensor posisi membutuhkan tegangan -15 VDC serta penggerak dan pengkondisi sensor posisi membutuhkan tegangan +15 VDC dan -15 VDC. Tegangan yang dibutuhkan oleh NI-DAQ 6218 dan sensor arus dipasok dari USB komputer/laptop sedangkan tegangan +15 VDC dan -15 VDC didapat dari variabel PSU yang dipasang seri. Sensor posisi dalam sistem ini berguna sebagai pendeteksi posisi objek yang diangkat, dimana sensor yang dipergunakan harus memiliki respon yang cepat untuk mendeteksi perubahan posisi objek selama terjadi perubahan variasi tegangan pada kumparan.

3.1 Perangkat Keras Mekanik

Tiang penyangga terbuat dari bahan *acrylic* dengan tebal 10 mm. Bahan ini dipilih karna mudah dalam proses permesinan dan perakitanya, dan tidak akan terpengaruh oleh medan magnet yang dihasilkan kumparan. Kawat tembaga yang akan digunakan sebagai kumparan memiliki diameter 0,65 mm dengan jumlah lilitan 1450 lilitan. Kawat tersebut akan dililitkan pada selongsong plastik dengan ketebalan 3 mm yang terpasang pada inti besi berlapis dan kumparan akan diletakan pada penyangga dengan menggunakan mur dan baut.

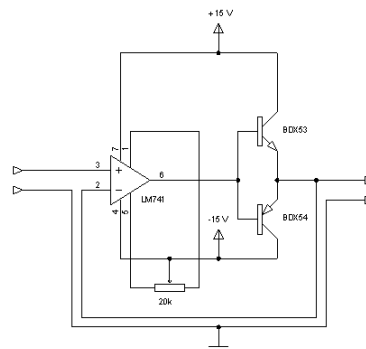


Gambar 3 Rancangan pengangkatan magnetik

3.2 Perangkat Keras Elektrik

Rangkaian penggerak kumparan

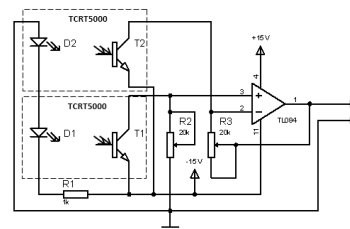
Rangkaian penggerak kumparan ialah rangkaian pengikut tegangan dengan transistor komplementer seperti terlihat pada gambar 4 Prinsip kerja rangkaian ini adalah ketika tegangan masukan positif maka transistor BDX53 (NPN transistor) yang akan bekerja, sebaliknya ketika masukan negatif maka transistor BDX54 (PNP transistor) yang bekerja. Untuk menghindari *dead band* saat tegangan masukan antara 0,7V dan -0,7V maka kaki no 2(dua) LM741 langsung dihubungkan ke emitor pada masing-masing transistor. Penggunaan transistor pada rangkaian ini bertujuan untuk menguatkan arus masukan karna besarnya arus emitor adalah penjumlahan arus basis dan arus kolektor.



Gambar 4 Rangkaian pengikut tegangan dengan transistor komplementer

Rangkaian sensor posisi

Rangkaian sensor posisi seperti terlihat pada gambar 5 menggunakan foto-reflektor TCRT 5000 dengan range operasi 0, 2mm – 15 mm. Sensor ini dipasang berpasangan dimana sensor TCRT5000 pertama (D1,T1) dipasang di atas sedangkan TCRT5000 kedua (D2,T2) dipasang dibawah. Selanjutnya dengan op amp TL084 sebagai rangkaian pengurang yaitu tegangan pada kaki no 3(tiga) TL084 dikurangi tegangan pada kaki no 2(dua) TL084. Profil tegangan luaran rangkaian ini berkisar antara 4V dan -4V yang proporsional dengan posisi objek 0-8 mm dengan potensiometer R2 dan R3 sebagai pengatur tegangan.



Gambar 5 Rangkaian sensor posisi

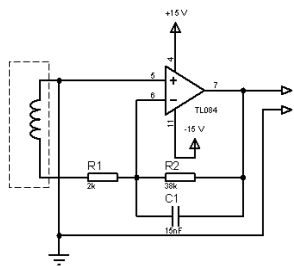
Rangkaian sensor kecepatan

Rangkaian sensor kecepatan ini menggunakan op amp TL084 sebagai rangkaian integrator seperti terlihat

pada gambar 6, dengan persamaan tegangan output sebagai berikut .

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1 \cdot C} \int V_{sp} dt$$

$$k_g = -\frac{R_1 \cdot C}{R_2} \frac{V_{out}}{\Delta x} \dots \dots \dots (3.1)$$



Gambar 6 Rangkaian pengkondisi sensor kecepatan Sensor arus

Sensor Arus yang digunakan adalah sensor ACS712-5A dengan range deteksi arus ±5A dengan sensitivitas 185 mV/A. Sensor arus ini merupakan sensor yang berbasis efek hall.

3.3 Perangkat Lunak

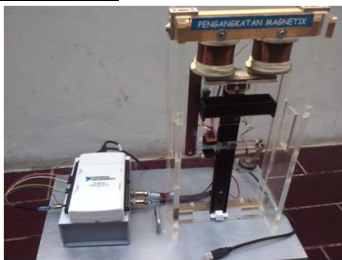
Pada pengendalian sistem pengangkatan magnetik, LabVIEW dengan kendali PID diharapkan bekerja secara otomatis, dan memiliki respon yang tanggap terhadap perubahan posisi objek yang diangkat dari sensor posisi. Sistem kontrol yang dibuat ini menggunakan kendali PID. karna alat ini akan digunakan sebagai alat bantu ajar maka gambar 7 menunjukkan diagram blok perangkat lunak pengangkatan magnetik yang akan dibuat.



Gambar 7 Perancangan perangkat lunak

Hasil perancangan

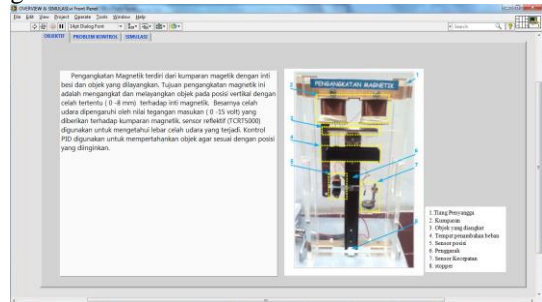
Elektrik dan Mekanik



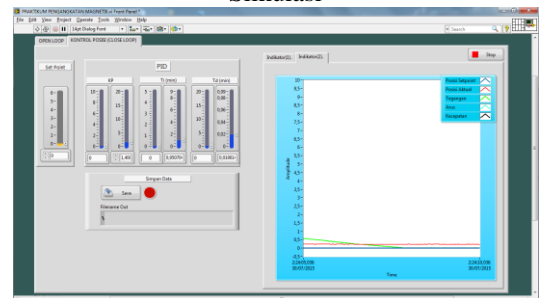
Gambar 8 Aktual Sistem Pengangkatan Magnetik

Antarmuka

Program antarmuka terdiri dari beberapa *tab* seperti terlihat pada gambar 9 dan 10, namun secara garis besar terdiri dari dua bagian yaitu program simulasi pengangkatan magnetik dan praktikum pengangkatan magnetik.



Gambar 9 Antarmuka untuk Gambaran Umum dan Simulasi

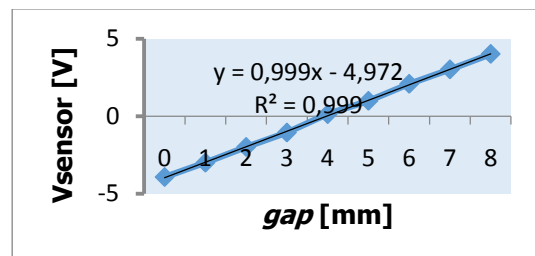


Gambar 10 Antarmuka untuk Praktikum

IV. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

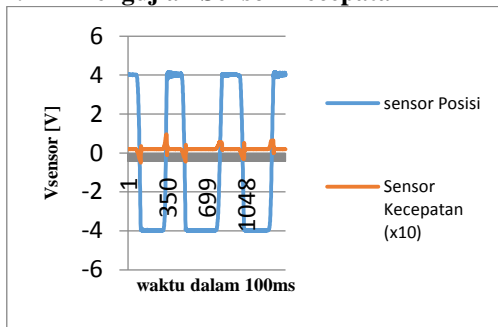
4.1 Pengujian Sensor Posisi

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui hubungan celah udara yang terjadi dengan tegangan keluaran dari sensor posisi (TCRT5000). Alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian ini adalah mistar, NI DAQ 6218, objek yang dilayangkan dan sensor TCRT 5000. Pengujian sensor dilakukan dengan merubah posisi objek dari 0-8 mm dari ujung kumparan dan tegangan sensor diukur setiap perubahan 1 mm dengan NI DAQ USB-6218 menggunakan port analog *input*. Pengambilan data dilakukan beberapa kali. Data hasil pengujian yang telah diolah dapat dilihat pada gambar 11



Gambar 11 Hubungan antara tegangan sensor dengan celah

4.2 Pengujian Sensor Kecepatan



Gambar 12 Grafik hubungan sensor posisi dan kecepatan

Pengujian sensor kecepatan dilakukan dengan menggerakkan objek naik turun, dari hasil pengukuran, rata-rata tegangan keluaran sensor kecepatan terhadap perubahan posisi ($\frac{V_{out}}{\Delta x}$) didapat 0,1482 didapat nilai konstanta k_g sebagai berikut.

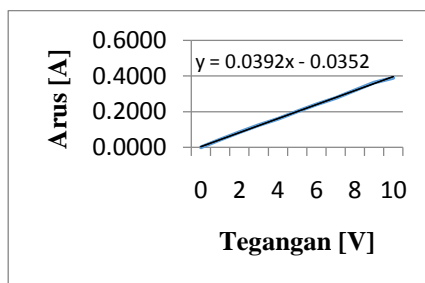
$$k_g = - \frac{2k \times 15 \times 10^{-9}}{38k} \frac{V_{out}}{\Delta x}$$

$$k_g = -7,894736842 \times 10^{-10} \times 0,1482$$

$$k_g \approx -1,17 \times 10^{-10}$$

4.3 Pengujian Sensor Arus

Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mengetahui arus yang mengalir pada kumparan saat diberikan variasi tegangan masukan. Pengambilan data dilakukan berberapa kali. Data hasil pengukuran yang telah diolah dapat dilihat pada gambar 13. Dari hasil pengukuran didapat bahwa arus maksimum yang diberikan pada kumparan sebesar 0,3899 A.

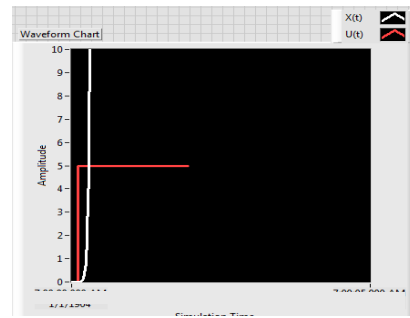


Gambar 13 Hubungan antara tegangan kumparan terhadap arus

4.4 Pengujian Sistem Tanpa Pengendali

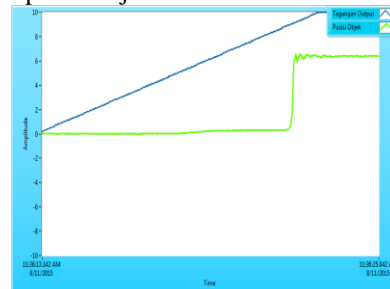
Pengujian sistem ini dilakukan secara *open loop* dengan memvariasikan tegangan masukan pada kumparan dan melihat pengaruhnya pada posisi objek yang diangkat

Gambar 15 merupakan simulasi pengangkatan menggunakan software LabVIEW dengan menggunakan *input step* $U(t)$ dalam satuan Volt dan output berupa posisi objek $X(t)$ dalam satuan mm. simulasi ini menggunakan parameter yang pada tabel 1



Gambar 15 Grafik respon simulasi sistem dengan *input step* 5 volt

Dari hasil simulasi didapat bahwa objek langsung terangkat tanpa nilai akhir saat diberi masukan tegangan, hal ini menunjukkan bahwa sistem tidak stabil. Setelah dilakukan simulasi maka dilakukan pengujian pada sistem real dengan memberikan tegangan masukan pada kumparan menggunakan fungsi ramp dengan resolusi sebesar 0,001V/ms. hasil pengujian pada sistem real dapat dilihat pada gambar 16 dengan catatan, tegangan output dalam satuan volt, sedangkan posisi objek dalam satuan mm.

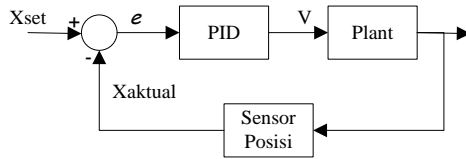


Gambar 16 Grafik respon sistem dengan masukan ramp dengan nilai akhir 10 Volt

Dari hasil pengujian sistem dengan fungsi ramp menunjukkan bahwa objek mulai terangkat saat tegangan 8 volt yaitu terangkat sebesar 0,01 mm, namun saat tegangan lebih besar dari 8 volt maka objek langsung terangkat dengan menuju posisi maksimum. Hal ini disebabkan karena untuk mengangkat objek pada jarak 8 mm dari ujung kumparan dibutuhkan medan magnet yang besar sejalan dengan tegangan masukan lebih besar dari 8 volt, namun saat objek mulai terangkat maka dibutuhkan pengendalian untuk menurunkan tegangan masukan pada kumparan dengan cepat sebelum objek menempel pada ujung kumparan, selain itu juga menunjukkan bahwa sistem ini merupakan sistem yang nonlinear dan tidak stabil. Oleh karena itu berdasarkan simulasi dan pengujian pada sistem real posisi objek pada sistem pengangkatan magnetik sulit dikendalikan secara *open loop*, sehingga dibutuhkan sistem kendali *close loop* agar objek bisa diposisikan sesuai dengan posisi yang diinginkan.

4.5 Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem pengangkatan ini dilakukan secara *close loop* dengan blok diagram kontrol posisi seperti gambar 17 dimana X_{set} adalah posisi objek yang diinginkan, sedangkan X aktual adalah posisi objek yang sebenarnya.



Gambar 17 Blok diagram kontrol posisi

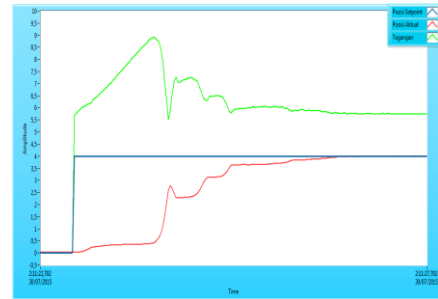
Pengujian sistem dilakukan dengan sistem pengendalian *close loop* dengan X_{set} adalah posisi objek yang diinginkan, X_{aktual} adalah posisi objek yang sebenarnya, e adalah nilai kesalahan, sedangkan V adalah tegangan masukan pada kumparan berinti. Pengujian kendali PID ini menggunakan nilai $K_p=1,4$, $T_i=0,95$ dan $T_d=0,019$.

Pengujian yang dilakukan dengan menggunakan *input step*, *input ramp* dan memberikan gangguan seperti terlihat pada gambar 18,19 dan 20. Respon kendali PID untuk masing-masing masukan memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Untuk pengujian dengan *input step*, pergerakan objek yang diangkat kurang mulus dan semakin jauh posisi objek dari inti magnet maka semakin besar tegangan yang dibutuhkan untuk mempertahankan posisi objek. Pengujian dengan *input ramp* yang bersesolusi sebesar $0,001V/ms$, perubahan posisi objek lebih mulus dibandingkan dengan *input step*, hal ini menunjukkan bahwa ada perbaikan respon kendali bila menggunakan *input ramp*. Namun konsekuensi penggunaan *input ramp* adalah respon sistem menjadi lebih lambat.

Pengujian dengan gangguan dilakukan dengan penambahan beban sebesar $0,01692$ kg pada tempat penambahan beban yang disediakan. Pada saat terjadi gangguan maka sistem mengalami osilasi terlebih dahulu sebelum kembali stabil, hal ini disebabkan karena medan magnet yang dibutuhkan semakin besar, sehingga pengendali menambahkan tegangan masukan pada sistem namun terlalu besar sehingga objek terangkat melebihi nilai *set point* dan sistem harus mengurangi tegangan masukan dalam waktu yang singkat sampai posisi objek yang diinginkan tercapai. Hal ini menunjukkan bahwa dibutuhkan kontrol adaptif untuk mengurangi osilasi sistem sebelum mencapai nilai *set point* saat diberi gangguan.

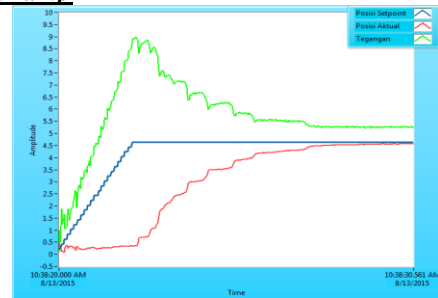
Warna	Keterangan
— (Hijau)	Tegangan output (Volt)
— (Biru)	Posisi Set point (mm)
— (Merah)	Posisi Aktual (mm)

input step



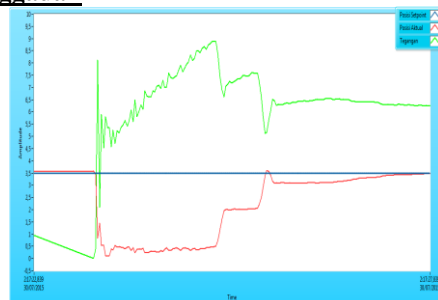
Gambar 18 Grafik kendali PID dengan *input step* untuk mencapai *set point* 4 mm

input ramp



Gambar 19 Grafik kendali PID dengan *input ramp* dengan nilai akhir 4,5 mm

Gangguan



Gambar 20 Grafik pengendalian dengan kendali PID untuk mempertahankan *set point* 3 mm

V. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan, pembuatan serta pengujian sistem didapat beberapa kesimpulan yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Sistem pengangkatan magnetik yang telah dibuat telah berhasil mengangkat objek pada jarak 2 mm sampai 8 mm dari ujung kumparan dengan menggunakan kendali PID.
2. Perangkat lunak LabVIEW yang didukung dengan perangkat keras akuisisi data NI DAQ 6218 mampu membangun sebuah Instrumentasi virtual yang mudah dimodifikasi sesuai tututan pengguna dan dapat digunakan sebagai alat bantu ajar praktikum.

DAFTAR PUSTAKA

- Tipler, P. A. (2001). *Fisika Untuk Sains dan Teknik, Volume 2*. Jakarta: Erlangga.
- Nave, D. R. (2010). *HyperPhysics*. (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/magfie.html>, diakses oktober 2014).
- DeMarco, K. (2009). *Mixed-up-signal sanalog and digital design*. (<http://www.mixedupsignals.com/>, diakses oktober 2014).
- National High Magnetic Field Laboratory. National high magnetic field laboratory. (<http://www.magnet.fsu.edu/education/tutorials/magnetacademy/magnets/page2.html>, diakses oktober 2014)
- Germany to build maglev railway*, 2007. (<http://news.bbc.co.uk/2/low/business/7011932.stm>, diakses oktober 2014).
- Carl Hoffman. *Trans-atlantic maglev*, 2004. (<http://www.popsoci.com/scitech/article/2004-04/trans-atlantic-maglev>, diakses oktober 2014).
- Virtual Instrumentation-National Instruments* (<http://www.ni.com/white-paper/4752/en/>, diakses Oktober 2014)
- N. Ertugrul, Towards Virtual Laboratories: a Survey of LabVIEW-based Teaching/Learning Tools and Future Trends, *International Jurnal of Electronic and Electrical Engineering*, Vol.16, No.3, 2000. (<http://www.ijee.ie/articles/Vol16-3/ijee1116.pdf>, diakses November 2014)
- [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, Swedia
- Sari, Elfira. (2007). *Perancangan Perangkat Sistem Pelayangan Magnetik (Magnetic Levitation)*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Purbaningrat, R. (2008). *Perencanaan dan Pembuatan Perangkat Keras Steel Ball Magnetik Levitation*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Fransiskus, Bazoka. (2011). *Sistem Kendali Posisi Berbasis Levitasi Magnetik*. Depok : Universitas Indonesia.
- Yu, Wen dan Xiaoon Li. A Magnetic Levitation System for Advanced Control Education, *The International Federation of Automatic Control*, 2014. (<http://www.nt.ntnu.no/users/skoge/prost/proceedings/ifac2014/media/files/0147.pdf>, diakses November 2014)
- Kessler, R. *Magnetisches Traglager (Ein Experiment zur Regelungstechnik: Regelung einer instabilen Strecke)*. (<http://www.home.hs-karlsruhe.de/~kero0001/magnet3.htm>, diakses Oktober 2014)