

## Desain Sistem Magnetic Levitation Dengan Kontrol PID Menggunakan Tuning Cohen-Coon

**Christian Ardi Candra Goenawan**

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail : christian.18062@mhs.unesa.ac.id

**Lilik Anifah, I Gusti Putu Asto, Puput Wanarti Rusimamto**

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail : lilikanifah@unesa.ac.id, asto@unesa.ac.id, puputwanarti@unesa.ac.id

### Abstrak

Seiring perkembangan zaman banyak teknologi yang berkembang dan berinovasi, baik dibidang industri dan transportasi. Banyak penelitian yang mengembangkan konsep *Magnetik Levitation (Maglev)* sebagai inovasi baru dalam berbagai bidang. *Magnetik levitation* banyak dinilai sebagai terobosan baru dalam bidang teknologi yang dapat diaplikasikan dalam banyak hal sebagai contoh Kerta api *Maglev*, dekorasi yang menerapkan konsep *Maglev*. Dalam penerapannya *Magnetic Levitation* membutuhkan keseimbangan yang stabil dan presisi. Permasalahan pada *Magnetic Levitation* adalah keseimbangan sistem dimana hasil respons pada sistem *Magnetic Levitation* harus cepat mencapai hasil step respon. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan hasil respons sistem *Magnetic Levitation* dengan skala yang lebih kecil agar dapat digunakan untuk menghasilkan suatu sistem yang lebih stabil dengan menggunakan kontroler PID dan PI sebagai pembandingan dengan metode *Cohen-Coon* sehingga harapannya metode ini nantinya dapat digunakan pada sistem *Magnetic Levitation* dengan skala yang lebih besar. Hasil dari simulasi menggunakan perbandingan kontroler *Proportional Intergral (PI)* dan *Proportional Integral Derivative (PID)* pada sistem pengendali *Magnetic Levitation* didapatkan nilai terbaik (*PI*)  $K_p = 0.45$   $K_i = 1.02$  dan (*PID*)  $K_p = 0.76$ ,  $K_i = 1.87$   $K_d = 0.31$  dan dapatkan hasil dari respon sistem dengan (*PI*) *Rise Time* = 0.8796s, *Settling Time* = 20.28s, *Peak Time* 3.44s dan mencapai *Overshoot* 65.39%, (*PID*) *Rise Time* = 0.7416s, *Settling Time* = 15.52s, *Peak Time* 3.16s dan mencapai *Overshoot* 63.01%, *Magnetic Levitation* dengan menggunakan kontroler PID lebih cepat mencapai *step respons* dan memiliki nilai *Overshoot* yang lebih kecil dibandingkan dengan kontroler PI. berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bila kontrol *PID* menggunakan *tuning Cohen-Coon* memiliki hasil respons yang lebih baik dibandingkan dengan kontroler *PI* dan dapat digunakan untuk sistem *Magnetic Levitation*.

**Kata Kunci:** *Magnetic Levitation*, Kontroler PI dan PID, *Tuning Cohen-Coon*.

### Abstract

Technologies has been developing and innovating, both in the fields of industry and transportation. Many studies have developed the concept of Magnetic Levitation (Maglev) as a new innovation in various fields. Magnetic levitation is widely regarded as a new breakthrough in the field of technology that can be applied in many ways, for example Maglev trains, decorations that apply the Maglev concept. In its application Magnetic Levitation requires a stable and precise balance. The problem with Magnetic Levitation is the balance of the system where the response results in the Magnetic Levitation system must quickly reach the results of the response steps. The purpose of this study is to compare the response of the Magnetic Levitation system with a smaller scale so that it can be used to produce a more stable system using PID and PI controllers as a comparison with the Cohen-Coon method so that it is hoped that this method can later be used on the Magnetic Levitation system. on a larger scale. The results of the simulation using a comparison of Proportional Integral (PI) and Proportional Integral Derivative (PID) controls on the Magnetic Levitation control system obtained the best value (PI)  $K_p = 0.45$   $K_i = 1.02$  and (PID)  $K_p = 0.76$ ,  $K_i = 1.87$   $K_d = 0.31$  and get the result of the system response with (PI) *Rise Time* = 0.8796s, *Settling Time* = 20.28s, *Peak Time* 3.44s and reached *Overshoot* 65.39%, (PID) *Rise Time* = 0.7416s, *Settling Time* = 15.52s, *Peak Time* 3.16s and achieves an *Overshoot* of 63.01%, Magnetic Levitation using a PID controller achieves a step response faster and has a smaller *Overshoot* value compared to a PI controller. Based on this data, it can be locked if the PID control using Cohen-Coon tuning has a better response than the PI controller and can be used for Magnetic Levitation systems.

**Keywords:** Magnetic Levitation, PI and PID Controller, Tuning Cohen-Coon.

## PENDAHULUAN

Seiring perkembangan zaman dan perkembangan teknologi yang sangat pesat. Saat ini banyak sekali perangkat dengan teknologi yang begitu inovatif sebagai penunjang kebutuhan masyarakat itu sendiri. Banyak pembelajaran dan penelitian tentang *Magnetic Levitation* yang menghasilkan banyak produk yang bermanfaat bagi manusia. Metode pelayangan magnet mulai banyak dibuat dan diterapkan diberbagai sektor sebagai contoh industri dan transportasi. *Magnetic Levitation* diharapkan dapat menjadi terobosan baru kearah yang lebih modern.

Metode memindahkan barang menggunakan medan magnet dikenal sebagai Levitasi Magnetik. Gaya elektromagnetik digunakan untuk mengimbangi efek gaya gravitasi. Metode Levitasi di ruang bebas dengan menangkal gaya gravitasi yang diberikan pada itu dikenal sebagai Levitasi Magnetik. Dengan kata sederhana, ini dapat digambarkan sebagai suspensi yang stabil dari item melawan gravitasi. (Wibowo dan Sutomo, 2011).

Kontroler PID digunakan di banyak kontrol sistem karena kesederhanaan dan ketahanannya. Nama PID berasal dari nama subbagiannya yaitu, gain proporsional atau KP, gain integral atau KI, dan gain turunan atau KD. Untuk membuat pengontrol PID bekerjadengan baik harus dilakukan dengan akurat dan hati-hati agar mendapatkan hasil yang maksimal . yaitu, mengurangi kesalahan keadaan tunak, *overshoot* yang wajar dan waktu penyelesaian.

Ada tiga jenis kontroler PID: proporsional, integral, dan diferensial. Ketiganya dapat digunakan bersama-sama atau terpisah, tergantung pada respons yang diinginkan dari rencana suatu plan tersebut. Kontrol PID digunakan ketika kinerja sistem memerlukan peningkatan kerja. Sistem yang baik adalah sistem yang kinerjanya dalam keadaan transien dan stabil, parameter pengontrol PID disetel menggunakan kriteria penyetelan seperti aturan penyetelan *Ziegler-Nichols (Z- N)*. Aturan Z-N berikan tebakan terpelajar untuk nilai parameter dan memberikan titik awal untuk fine tuning, daripada memberi titik pengaturan akhir untuk pengontrol PID, (Ogata, 2010).

Pendekatan mekanis dengan menempatkan dua sensor ruang efek di atas-bawah kumparan, berhasil diterapkan untuk meminimalkan efek perilaku magnetik sehingga pengontrol dapat dengan mudah dirancang berdasarkan pendekatan respons grafis (*metode Ziegler-Nichols dan Cohen-Coon*), sebagai gantinya pendekatan analisis matematis. Eksperimen verifikasi menunjukkan bahwa struktur kontrol dari *Ziegler-Nichols (PID)* memberikan respons yang baik tanpa waktu tunda, overshoot, dan kesalahan kondisi tunak. Dia juga memiliki waktu naik dan waktu penyelesaian yang lebih kecil dari pada kontrol *PI* dari *Cohen-Coon*. Dalam sistem kendali aplikasi, struktur, parameter kontrol, dan respons adalah titik awal yang perlu

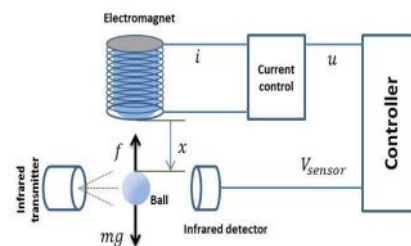
tingkatkan berdasarkan aturan penyetelan untuk memenuhi respons yang diinginkan. (Isdaryani dkk, 2019)

Pengontrol yang disetel berbasis *Cohen-Coon PID* untuk kontrol sistem berkinerja relative lebih baik daripada metode penyetelan *Ziegler-Nichols PID*. Meskipun keduanya adalah kontroler PID klasik konvensional, dan juga membutuhkan solusi yang tepat untuk model matematika lengkap dari sistem yang akan dikontrol, metode tuning *Cohen-Coon PID* lebih baik dalam arti memberikan pengurangan konsumsi energi karena persentase overshoot dan waktu penyelesaian yang rendah atau bisa dikatakan dapat lebih cepat mencapai setpoint oleh karena itu, dapat digunakan sebagai pengganti yang lebih baik untuk teknik penyetelan *Ziegler-Nichols PID (ZN-PID)* di sektor industri. Kontribusi utama untuk pengetahuan tentang ini pekerjaan penelitian adalah mengurangi jumlah panas yang dihasilkan oleh pembangkit karena efisiensi energi operasi pembangkit dan meningkatkan waktu dan biaya produksi dibandingkan dengan metode penyetelan *Ziegler-Nichols PID*. (Joseph, 2017)

Berdasarkan latar belakang masalah "*Magnetic Levitation*" maka akan dilakukan perancangan penelitian untuk membandingkan Tuning menggunakan metode *Tuning Cohen-Coon (C-C)* dengan menggunakan dua Controller berbeda yaitu PI dan PID. pada perancangan penelitian kali ini penulis mengambil judul "*Desain Sistem Magnetic Levitation dengan Kontrol PID Menggunakan Tuning Cohen-Coon*", diharapkan perancangan ini mampu membandingkan hasil data dari dua controller yang berbedan dan mendapatkan nilai yang lebih optimal.

## PEMODELAN PLANT

Menunjukkan konstruksi dasar dari sistem *Magnetic Levitation*. Ini adalah sistem yang terdiri dari bola magnet yang harus melayang dengan mengendalikan medan magnet. Untuk mengontrol medan elektromagnetik dan posisi bola magnet, sensor dapat digunakan untuk mengukur posisi bola, sehingga kesalahan posisi dapat dikurangi. Sistem *Magnetic Levitation* adalah sistem nonlinier dan dengan mempelajari karakteristiknya, perilaku pemodelan mekanik dan matematis dari sistem.



Gambar 1. Desain Sistem Mekanik (Abdalahdi dan Wahid, 2021)

**Sistem Elektrik**

Dengan menggunakan hukum tegangan *Kirchhoff*, gaya elektromagnetik yang dihasilkan oleh arus di dalam koil dapat diperoleh sebagai:

$$V(t) = V_R + V_L = Ri + \frac{d[L(x)i]}{dt} \tag{1}$$

Di mana  $V$  adalah tegangan input,  $R$  adalah resistansi kumparan,  $L$  adalah induktansi dan  $i$  mewakili arus yang melalui spiral.

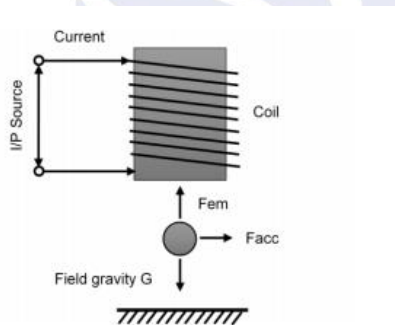
**Sistem Mekanik**

Menunjukkan diagram benda bebas dari bola yang diangkat dengan cara menyelaraskan gaya gravitasi, dan gaya elektromagnetik. Jika gaya redaman dan gesekan udara diabaikan, gaya total yang bekerja pada kumparan adalah Hukum Ketiga *Newton* tentang gerak sebagai:

$$F_{acc} = F_{gravitasi} - F_{em} \tag{2}$$

$$m\ddot{x} = mg - k\frac{i^2}{x^2} \tag{3}$$

Di mana  $m$  adalah massa bola,  $k$  adalah konstanta gaya magnet,  $g$  adalah konstanta gravitasi dan  $x$  adalah posisi bola.



Gambar 2. *Magnetic Levitation Ball* (Abdalhadi dan Wahid, 2021)

**Pemodelan Matematika dalam State Space**

Dengan menggabungkan persamaan terkait mekanik dan elektromagnetik, persamaan dinamis sistem dari *Magnetic Levitation* dapat diperoleh sebagai:

$$\frac{dx}{dt} = v \tag{4}$$

$$E = Ri + \frac{d[L(x)i]}{dt} \tag{5}$$

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = mg - k\frac{i^2}{x^2} \tag{6}$$

$L(x)$  sebagai fungsi *nonlinier* dari posisi bola. Jika induktansi bervariasi sehubungan dengan posisi bola, yaitu:

$$L(x) = L_1 + \frac{2k}{x} \tag{7}$$

Di mana  $L_1$  adalah parameter sistem *Magnetic levitation*.

dengan menerapkan nilai  $L(x)$  menghasilkan:

$$e = Ri + \frac{d[(L_1 + \frac{2k}{x})i]}{dt} \tag{8}$$

Dengan menggunakan aturan produk:

$$\frac{di}{dt} = -\frac{Ri}{L} + \frac{2kiv}{Lx^2} + \frac{e}{L} \tag{9}$$

Juga, Persamaan (6) dapat ditulis ulang sebagai:

$$\frac{dv}{dt} = g - \frac{ki^2}{mx^2} \tag{10}$$

Dengan memperhatikan *vektor* keadaan,  $x = x_1, v = x_2, i = x_3$  dan  $u = e$ , dapat ditulis dalam bentuk *vector* sebagai:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 \\ g - \frac{kx_3^2}{mx_1^2} \\ -\frac{Rx_3}{L} + \frac{2Kx_2x_3}{Lx_1^2} \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} u \tag{11}$$

Di mana outputnya adalah posisi bola dan diturunkan sebagai:

$$y = x_1 = [1 \ 0 \ 0] x \tag{12}$$

**Linierisasi Sistem**

Jika  $x_1 = x^* = y^*$ , sistem dapat dilinierkan menggunakan deret *Taylor* yang memberikan *vektor* keadaan sebagai:

$$x_0 = [x_1^* \ x_2^* \ x_3^*] \tag{13}$$

Laju waktu posisi harus nol pada keadaan tunak *Magnetic Levitation* misalnya  $x_2^* = 0$ . Selain itu, arus dari bola pada saat naik dapat didefinisikan dari Persamaan (3), dan harus memenuhi kondisi yang diberikan:

$$x_3^* = y^* \sqrt{\frac{mg}{k}} \tag{14}$$

Dengan demikian, bentuk pemodelan ruang keadaan *linier* dapat ditulis sebagai:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ \frac{kx_3^{*2}}{mx_1^{*3}} & 0 & -\frac{2kx_3^*}{mx_1^{*2}} \\ 0 & \frac{2kx_3^*}{Lx_1^{*2}} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \tag{15}$$

Dengan mengganti nilai dari Persamaan (11) dan menggunakan Persamaan (14) dan  $x_1^* = y^*$  hasil

$$\frac{kx_3^{*2}}{mx_1^{*3}} = -\frac{2}{y^*} \sqrt{\frac{gk}{m}} \tag{16}$$

$$\frac{2kx_3^*}{Lx_1^{*2}} = \frac{2}{Ly^*} \sqrt{gmk} \tag{17}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ Cx_{03}^2 & 0 & -2\frac{Cx_{03}}{mx_{01}^2} \\ 0 & 2\frac{Cx_{03}}{Lx_{01}^2} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix}; \quad (18)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix}; C = [1 \ 0 \ 0] \quad (19)$$

Tabel 1 Parameter dari *Magnetic Levitation* Sistem

Parameter	Unit	Value
Massa Bola	Kg	0.018
Gaya Gravitasi, g	m/s <sup>2</sup>	9.8
Induktansi Coil, L	H	44.4
Resistansi Coil, R	Ohms	25
Constant, C		0.0001
Posisi Bola, $x_{01}$	m	0.012
Kecepatan, $x_{02}$	m/s	22.3
Arus, $x_{03}$	A	0.129

(Laksana dkk, 2016)

Berdasarkan nilai parameter yang disajikan pada Tabel 1, menyatakan *state space* model sebagai;

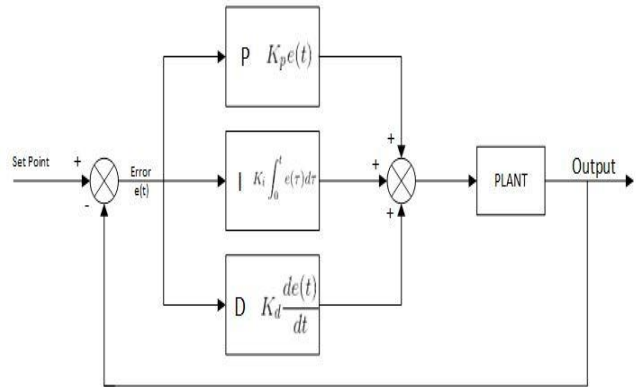
$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1.6 * 10^{-6} & 0 & -9.6 \\ 0 & 3.8 * 10^{-4} & -1.776 \end{bmatrix}; \quad (20)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{44.4} \end{bmatrix}; C = [1 \ 0 \ 0] \quad (21)$$

**Kontroller PID**

Metode kontrol adalah teknik yang sering digunakan untuk mengoreksi sinyal yang salah dan memberikan output sebagai respons terhadap kesalahan yang dikenali. Karena memiliki struktur yang relatif mendasar dan dapat diimplementasikan dengan cepat dengan melakukan modifikasi untuk mendapatkan nilai kontrol parameter, PID umumnya digunakan untuk kontrol proses di industri yang menempatkan nilai tinggi pada stabilitas sistem kerja. Kontroler *Proporsional (P)*, *Integral (I)*, dan *Derivatif (D)* adalah tiga bentuk kontroler *PID (D)*. Diagram Blok Sistem PID ditunjukkan pada Gambar 3.

Jika model matematis Levitasi Magnet dapat dihasilkan, beberapa pendekatan desain dapat digunakan untuk menghasilkan pengontrol parameter yang memenuhi parameter keadaan sementara dan keadaan tunak sistem close loop. Teknik analitik atau komputasi untuk kontrol PID tidak didukung jika pabrik sangat kompleks sehingga sulit untuk mendapatkan model matematis. Kontroler PID kemudian harus disetel menggunakan teknik eksperimental. (Patel, 2015:1)

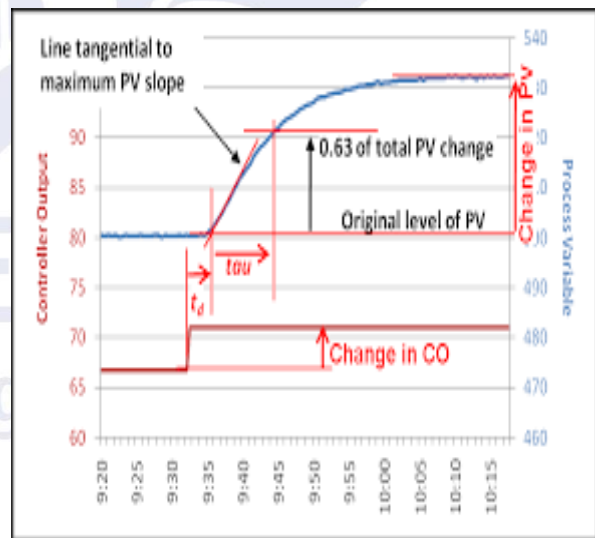


Gambar 3. Diagram blok kontrol PID pada *Plant*

**Metode Tuning Cohen-Coon (C-C)**

Pendekatan Ziegler-Nichols secara substansial kurang sesuai untuk berbagai proses dibandingkan metode kontrol PID dengan penyetelan Cohen-Coon. Hanya dalam momen-momen terus-menerus dalam waktu yang terus-menerus, pendekatan adaptasi Ziegler-Nichols dapat berjalan dengan sukses. Pendekatan pemodelan Cohen-Coon, di sisi lain sesuai untuk proses yang memakan waktu kurang dari dua kali lebih lama dari konstanta waktu.

Gambar 4 menunjukkan cara menggunakan uji langkah untuk menentukan nilai gp, tau, dan td. Aturan tuning Cohen-Coon akan digunakan untuk menentukan nilai parameter PID menggunakan data ini.



Gambar 4. *Step Test* Untuk Proses Tuning

Pengaturan *Cohen-Coon* menggunakan dua langkah Perhitungan. Yaitu, mendapatkan respon pertama dari sebuah sistem, kemudian menggunakan uji langkah yang ditunjukkan pada Gambar 4 untuk menemukan nilai dari parameter tau, td, dan Gp. Langkah kedua adalah mencari nilai PID dengan aturan yang telah ditetapkan pada *Tuning Cohen-Coon*

Tabel 2. Formula Kontroler PID *Tuning Cohen-Coon*.

www.opticontrols.com	Controller Gain	Integral Time	Derivative Time
P Controller:	$K_c = \frac{1.03}{g_p} \left( \frac{\tau}{t_d} + 0.34 \right)$		
PI Controller:	$K_c = \frac{0.9}{g_p} \left( \frac{\tau}{t_d} + 0.092 \right)$	$T_i = 3.33 t_d \frac{\tau + 0.092 t_d}{\tau + 2.22 t_d}$	
PD Controller:	$K_c = \frac{1.24}{g_p} \left( \frac{\tau}{t_d} + 0.129 \right)$		$T_d = 0.27 t_d \frac{\tau - 0.324 t_d}{\tau + 0.129 t_d}$
PID Controller: (Noninteracting)	$K_c = \frac{1.35}{g_p} \left( \frac{\tau}{t_d} + 0.185 \right)$	$T_i = 2.5 t_d \frac{\tau + 0.185 t_d}{\tau + 0.611 t_d}$	$T_d = 0.37 t_d \frac{\tau}{\tau + 0.185 t_d}$

**PENDEKATAN PENELITIAN**

Jenis pendekatan yang dilakukan pada Penelitian ini adalah Pendekatan Kuantitatif. Penelitian Kuantitatif merupakan sebuah cara untuk menemukan sebuah pendekatan melalui proses pengambilan data sehingga dapat disajikan dalam bentuk diagram, table, dan grafik yang memuat informasi yang didapat dari penelitian yang dilakukan. Pada penelitian ini menggunakan *software aplikasi Matlab 2016b* untuk mencari nilai dari *Transfer Function* atau Fungsi Alih dari suatu sistem sehingga dapat memudahkan pengguna untuk merancang kontroler PID dan PI dengan menggunakan metode *Tuning Cohen-Coon* serta dapat menunjukkan hasil respon dari sistem *Magnetic Levitation*

**PEMBAHASAN**

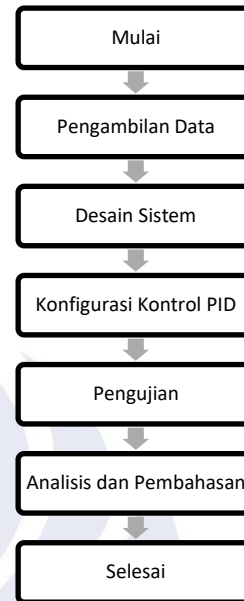
**Desain Sistem**

Deskripsi implementasi pengontrol PID dengan menggunakan metode *Tuning Cohen-Coon* ini menjelaskan secara singkat proses simulasi sistem dengan menggunakan perangkat pengontrol yang dapat mendukung penelitian ini. Setelah mencari literatur dari berbagai sumber, untuk menentukan data yang akan digunakan agar memudahkan dalam *Tuning Cohen-Coon*. Data yang didapat digunakan sebagai acuan dalam mengontrol kontroler pada sistem yang akan dikerjakan. terdapat banyak sekali literatur dan sumber yang menggunakan data sebelumnya dengan pemodelan yang berbeda. Peneliti menggunakan pemodelan *Tuning Cohen-Coon* untuk melihat keoptimalan dari suatu sistem untuk mencapai nilai *Setpoint*.

Terlihat pada hasil respon sistem bahwa respon terhadap kontrol PID lebih baik dari pada kontrol PI. Oleh karena itu, penulis semakin tertarik untuk menggunakan kontroler PID dengan metode *Tuning Cohen-Coon* sebagai perbandingan dari sistem *Magnetic Levitation*.

**Desain Penelitian**

Desain penelitian ini dilakukan secara sistematis dan terstruktur. Adapun beberapa tahapan penelitian diperlihatkan pada Gambar 6. Sebagai acuan untuk memulai penelitian.



Gambar 6. Alur Rancangan Penelitian

**Proses Simulasi**

Hal pertama yang dapat dilakukan sebelum melakukan simulasi sistem *Magnetic Levitation* adalah dengan menghitung model matematika dari sistem *Magnetic Levitation* itu sendiri. Model matematika untuk plant didapat menggunakan persamaan *Transfer Function* atau fungsi transfer dari literatur dan dari berbagai sumber sebelumnya yang berkaitan dengan sistem *Magnetic Levitation*. Pada proses simulasi ini digunakan persamaan matematika (18) dan (19), Kemudian untuk menghitung nilai *Transfer Function* dari bentuk *State Space* menggunakan rumus:

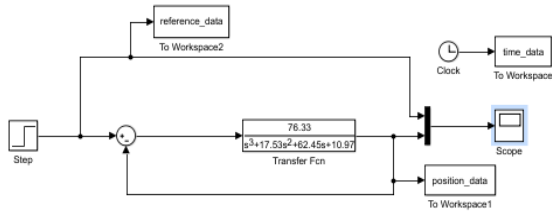
$$H(s) = C (sI - A)^{-1} B \tag{22}$$

*Transfer Function* yang diperoleh dari *State Space* Model adalah:

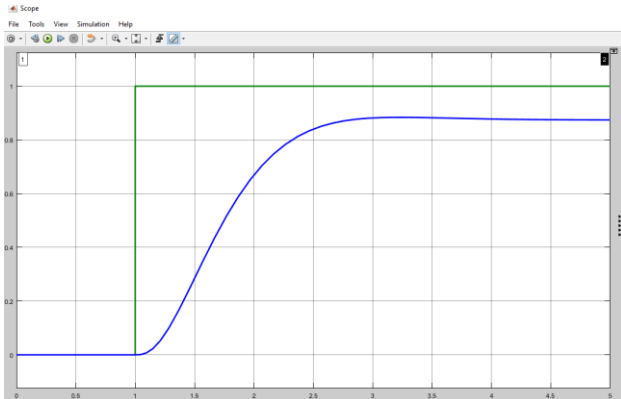
$$\text{Fungsi Alih} = \frac{76.33}{s^3 + 17.53s^2 + 62.53s + 10.97} \tag{23}$$

(Laksana dkk, 2016)

Setelah diperoleh persamaan fungsi alih plan, langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi sistem loop terbuka untuk mendapatkan grafik respons sistem yang dihasilkan dari sistem tersebut. ditunjukkan pada Gambar 7 yang merupakan diagram blok dari sistem loop terbuka menggunakan *Simulink* pada aplikasi *MATLAB 2016b*

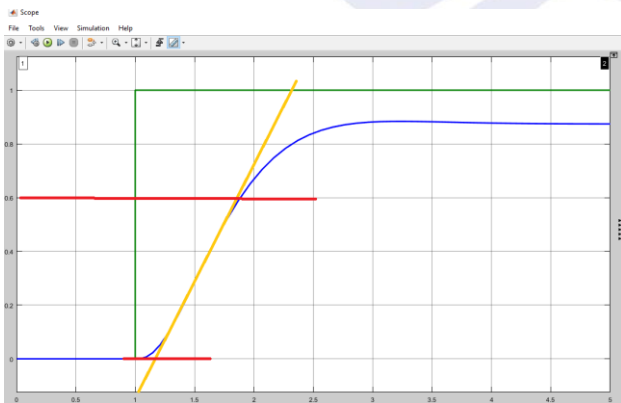


Gambar 7. Diagram Blok Simulasi *Open Loop*



Gambar 8. Grafik Hasil Respon Sistem Tanpa Kontroler

Melakukan uji langkah setelah mendapatkan hasil dari respons umpan balik sistem loop terbuka. Ini memerlukan menemukan garis singgung ke grafik respons sistem loop terbuka. Dengan menghitung waktu yang diberikan oleh grafik hasil respon sistem relatif terhadap garis singgung untuk mendapatkan setting Cohen-Coon Tuning, langkah ini digunakan untuk mencari nilai tau, td, Kp, perubahan PV, dan perubahan CO. temuan uji langkah yang disajikan pada Gambar 9 adalah sebagai berikut.



Gambar 9. Hasil Step Test Grafik *Open Loop Sistem*.

Hasil yang ditunjukkan

$\tau$  (perpotongan merah dan kuning) : 0.8  
 $T_d$  (merah bawah) : 1.1  
 $G_p = \frac{\text{Change in PV}}{\text{Change in CO}} = \frac{0.88}{0.55} = 1.6$  (24)

Setelah mendapatkan nilai dari parameter tersebut maka dapat dilakukan penghitungan nilai controller PI dan PID dengan aturan pemodelan *Tuning Cohen-Coon*,

dengan menghitung nilai parameter dari Gambar 5 maka didapatkan nilai Kp.

Penghitungan Kontrol PI:

$$K_p = \frac{1.35}{G_p} \left( \frac{\tau}{td} + 0.092 \right) = 0.45$$

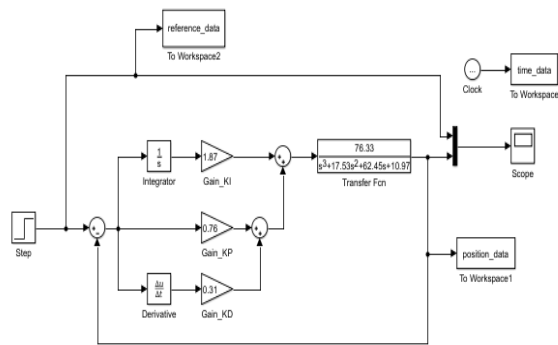
$$T_i = 3.33 td \frac{\tau + 0.092td}{\tau + 2.22td} = 1.02$$

Penghitungan Kontrol PID:

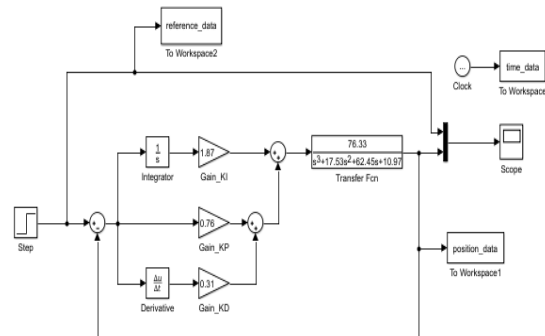
$$K_p = \frac{1.35}{G_p} \left( \frac{\tau}{td} + 0.185 \right) = 0.76$$

$$T_i = 2.5 td \frac{\tau + 0.185td}{\tau + 0.611td} = 1.87$$

$$T_d = 0.37 td \frac{\tau}{\tau + 0.185td} = 0.31$$



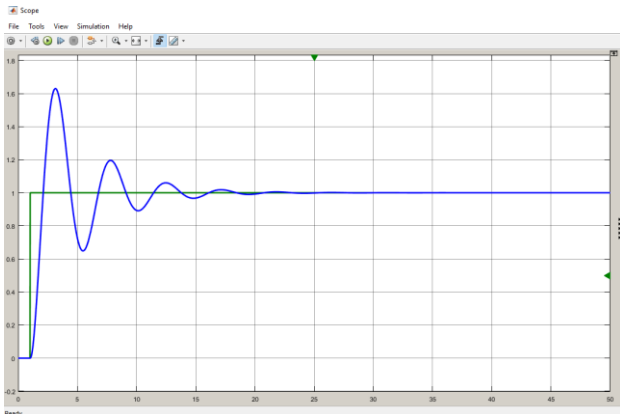
Gambar 10. Blok Diagram *Matlab* Kontrol PID.



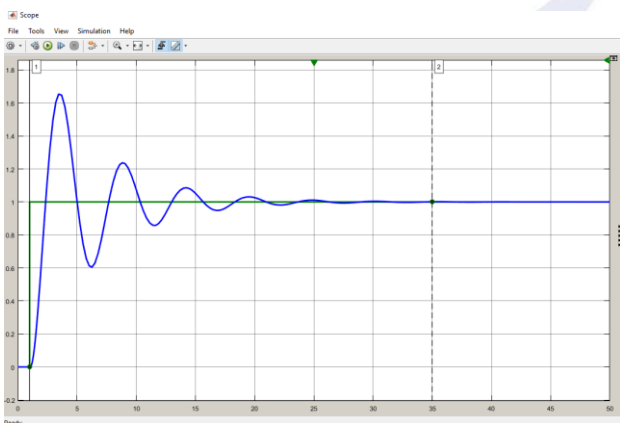
Gambar 11. Blok Diagram *Matlab* Kontrol PI.

Blok Diagram *Matlab* yang ditunjukkan pada Gambar 10 dan 11, menggunakan *setpoint step signal*, sedangkan untuk metode *Tuning* controller menggunakan blok PI dan PID dengan nilai input dari perhitungan aturan metode *Tuning Cohen-Coon*. Pada blok PI didapatkan nilai Kp = 0.45 dan Ki = 1.02 sedangkan dalam penghitungan PID mendapatkan nilai Kp = 0.76, Ki = 1.87, dan Kd = 0.31, sedangkan hasil

Transfer Fungsi adalah 
$$\frac{76.33}{s^3 + 17.53s^2 + 62.53s + 10.97}$$



Gambar 12. Respon Sistem dengan Kontroler PID.



Gambar 13. Respon Sistem dengan Kontroler PI.

Reaksi sistem pada setpoint memberikan data seperti waktu naik, waktu pengendapan, waktu puncak, dan *Overshoot*, menurut temuan simulasi. Pemodelan *Cohen-Coon Tuning* menggunakan kontroler *PI* dan *PID* kemudian digunakan untuk membandingkan nilai temuan respon sistem

Tabel 3. Hasil perbandingan dari respon metode *Tuning Cohen – Coon* dengan Kontroler *PI* dan *PID*.

Output	Metode Tuning Cohen-Coon	
	PI	PID
Rise Time (s)	0.8796	0.7416
Settling Time (s)	20.28	15.52
Peak Time (s)	3.44	3.16
Overshoot	65.39	63.01

Dapat dilihat hasil respons pada gambar (12) (13), dan tabel (3), grafik menunjukkan kontroler *PI* dan *PID* dengan menggunakan metode *tuning Cohen-Coon* memiliki hasil respons yang berbeda, respon sistem mengalami beberapa perubahan. Dalam grafik dapat dilihat bahwa kenaikan respon sistem dengan kontrol *PID*

lebih cepat mencapai *setpoint* dibandingkan dengan kontrol *PI*. Metode pemodelan *Cohen-Coon* dengan kontroler berbeda digunakan untuk melihat keoptimalan dari suatu pengendalian dan digunakan juga untuk mempercepat respon sistem sehingga dapat mencapai *setpoint*.

## SIMPULAN

Berdasarkan data yang didapatkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan telah diuji dengan melakukan simulasi maka hasil simulasi *Magnetic Levitation* dengan pengendali *PI* dan *PID* dengan model matematik yang didapatkan dari sistem mekanik berhasil bekerja dengan baik. Hasil dari simulasi implementasi menggunakan kontroler *PI* dan *PID* pada sistem pengendalian *Magnetic Levitation* didapatkan nilai terbaik (*PI*)  $K_p = 0.45$   $K_i = 1.02$  dan (*PID*)  $K_p = 0.76$ ,  $K_i = 1.87$   $K_d = 0.31$  dan dapatkan hasil dari respon sistem dengan (*PI*) *Rise Time* = 0.8796s, *Settling Time* = 20.28s, *Peak Time* 3.44s dan mencapai *Overshoot* 65.39%, (*PID*) *Rise Time* = 0.7416s, *Settling Time* = 15.52s, *Peak Time* 3.16s dan mencapai *Overshoot* 63.01%, *Magnetic Levitation* dengan menggunakan kontroler *PID* lebih cepat mencapai *step respons* dari sistem *Magnetic Levitation* dan memiliki nilai *Overshoot* yang lebih kecil dibandingkan dengan kontroler *PI*, berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bila kontrol *PID* menggunakan *tuning Cohen-Coon* memiliki hasil respons yang lebih baik dibandingkan dengan kontroler *PI* dan dapat digunakan untuk sistem *Magnetic Levitation*.

## SARAN

Saran-saran yang dapat diteruskan pada penelitian selanjutnya adalah Model matematika yang digunakan hanya dapat digunakan untuk *Magnetic Levitation* ini, dalam penelitian selanjutnya dapat diupgrade parameter-parameter yang ada sehingga dapat menghasilkan respons yang lebih baik. mencoba berbagai *tuning dan controller* yang berbeda guna untuk menjadikan pembandingan hasil respons yang lebih baik dan mengetahui hasil respon terhadap *tuning* yang berbeda.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdalhadi, A., dan Wahid, H. 2021. *Control Approaches for Magnetic Levitation Systems and Recent Works on Its Controllers' Optimization*. Applications of Modelling and Simulation, 11.
- Ahmad, I., Shahzad, M., dan Palensky, P. 2014. *Optimal PID Control of Magnetic Levitation System Using Genetic Algorithm*. ResearchGate, 6.
- Ahmed, R. H. 2019. *Controlling of Magnetic Levitation System using a Fuzzy system for tuning the PID Parameters*. Al-Mansour Journal, 14.
- Joseph, E. A. 2017. *Cohen-coon PID Tuning Method; A Better Option to Ziegler Nichols-PID Tuning Method*. International Journal of Recent Engineering Research and Development (IJRERD), 5.

- Isdaryani, F., Feriyonika, F., dan Ferdiansyah, R. 2019. *Comparison of Ziegler-Nichols and Cohen Coon tuning method for magnetic levitation control system*. iCAST-ES Journal of Physics, 11.
- Laksana, I., Pangaribuan, P., dan Wibawa, I. D. 2016. *Rancang Bangun Prototype Magnetic Levitation Sebagai Kontrol Posisi Bola Besi Dengan Menggunakan Metode Fuzzy Logic Kontrol*. Universitas Telkom, 9.
- Ogata, K. 2010. *Modern Control Engineering - International Edition*. United States: Pearson.
- Wibowo, D. B., & Sutomo, S. 2011. *Pemodelan dan Simulasi Sistem Control Magnetic Levitation Ball*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Winarto, B., & Rusimamto, P. W. 2018. *Rancang Bangun Sistem Levitasi Magnet Menggunakan Kontrol PID*. Jurnal Teknik Elektro, 63-70.
- Yadav, S. 2016. *Optimized PID Controller for Magnetic Levitation System*. International Federation of Automatic Control, 5.

