

DESAIN PENGENDALI PID – *GAIN SCHEDULLING* UNTUK PENGENDALIAN POSISI PADA SISTEM *MAGNETIC LEVITATION BALL*

Dian Mursyitah¹, Ahmad Faizal², Rahmat Andi Kurniawan³

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN SUSKA RIAU^{1,2,3}

Jl. HR. Soebrantas Km. 155 Pekanbaru - Riau

e-mail: dmursyitah@uin-suska.ac.id¹

ABSTRACT

This study propose a design of PID controller with gain schedulling optimization to controlling position for Magnetic Levitation Ball (Maglev) system. Design of PID controller with gain schedulling optimization are used to control three steel ball positions. Gain scheduling is designed to schedule each PID parameter to control the three predefined steel ball positions. Based on simulation and analysis result, gain scheduling is able to optimize PID controlling performance for controlling three steel ball positions. Proven by minimum setpoint attainment time are $\tau = 0.393$ s, $\tau = 0.408$ s, $\tau = 0.413$ s for each position.

Keywords: *Gain Schedulling, PID, Position*

INTISARI

Penelitian ini mengajukan desain pengendali PID dengan optimasi *Gain Schedulling* untuk mengendalikan posisi untuk sistem Magnetic Levitation Ball (Maglev). Desain pengendali PID dengan optimasi gain schedulling digunakan untuk mengendalikan tiga posisi bola baja. Gain Schedulling dirancang untuk menjadwalkan masing-masing parameter PID untuk mengendalikan tiga posisi bola baja yang telah ditentukan. Berdasarkan hasil simulasi dan analisis, Gain Schedulling mampu mengoptimalkan kinerja pengendalian PID untuk mengendalikan tiga posisi bola baja. Terbukti dengan waktu pencapaian setpoint yang minimum, dengan nilai konstanta waktu secara berurutan adalah $\tau = 0.393$ s, $\tau = 0.408$ s, $\tau = 0.413$

Kata kunci: *Gain Schedulling, PID, Posisi*

I. PENDAHULUAN

Magnetic levitation Ball bukanlah istilah baru di industri, dan telah diaplikasikan di berbagai bidang. Prinsip kerjanya adalah melayangkan objek menggunakan daya magnet. Magnetic levitation inilah yang sekarang disadur untuk diaplikasikan pada sistem kereta super cepat yang disebut *magnetic levitation train*. Pengendalian posisi menjadi sangat penting agar tidak terjadi gesekan antara objek pelayangan dan permukaan. Objek dalam hal ini bola baja harus dikendalikan sesuai posisi yang

telah ditentukan walaupun terdapat berbagai macam gangguan.[1][2][3].

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengendalikan posisi pada sistem maglev, yaitu pengendalian posisi menggunakan pengendali PID. Performansi yang dihasilkan baik namun terdapat kekurangan ketika posisi mengalami perubahan, akibatnya masing-masing parameter PID harus diatur ulang [4][5]. Permasalahan tersebut kemudian diselesaikan dengan menggunakan kendali cerdas *Fuzzy Logic Controller* yang dikombinasikan dengan gain

schedulling. Kelemahan yang muncul adalah kompleksitas yang tinggi dalam penurunan model matematis dan perancangan rule pada fuzzy. Hal ini disebabkan karena terdapat tiga posisi bola baja yang berbeda, yang harus dijadwalkan oleh fuzzy dan *gain schedulling*[6]

Pada penelitian ini dipilih pengendali PID. Walaupun pengendali PID merupakan pengendali konvensional, berdasarkan survey yang dilakukan honeywell pengendali PID masih banyak digunakan oleh 97% dunia industri masih menggunakan pengendali PID pada proses produksinya. Masing-masing kendali pada pengendali PID memiliki efek tersendiri bagi sistem, yaitu proporsional yang berfungsi untuk memperbaiki *rise time*, integral yang berfungsi untuk menghilangkan *error steady state*, dan derivatif yang berfungsi untuk memperbaiki *overshoot*. Namun, PID juga memiliki kekurangan yaitu dalam mendapatkan parameter yang tepat untuk masing-masing komponen P, I dan D[7]. Kemudian, pengendali PID tidak cocok jika diterapkan pada sistem non linier, karena umumnya sistem non linier memiliki ketidakpastian parameter. PID juga tidak mampu mengatasi perubahan parameter secara tiba-tiba dengan waktu yang cepat. Selain itu, pengendali PID juga belum cukup mampu mengatasi perubahan kondisi sistem. Akibatnya pencarian komponen P, I dan D harus dilakukan ulang sehingga tidak efisien dari segi waktu. Oleh sebab itu, untuk mendapatkan hasil optimal pengendali PID dapat dikombinasikan dengan pengendali lain[7][8]

II. METODE PENELITIAN

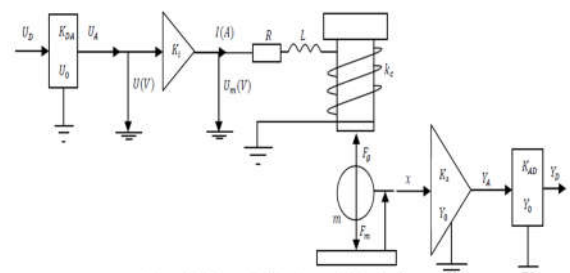
Metode Penelitian dimulai dengan studi literatur, validasi model matematis sistem *maglev ball*, kemudian dilanjutkan dengan perancangan pengendali PID dan

Gain Schedulling, langkah selanjutnya adalah mensimulasikan model matematis sistem bersama hasil rancangan pengendali untuk masing-masing posisi, dan dianalisa hasil dan pembahasan.

Pengujian model matematis sistem *maglev ball*[1][2]

Gambar 1 memperlihatkan model dan struktur pelayangan magnet pada bola baja (*magnetic levitation ball*). Adapun komponen dan struktur *Magnetic Levitation Ball* ini terdiri dari:

1. *Digital to Analog Converter* (DAC) yang berfungsi sebagai pengubah sinyal digital menjadi sinyal analog.
2. *Power amplifier* berfungsi sebagai sumber arus yang konstan.
3. Solenoida berfungsi sebagai magnet untuk melawan gaya gravitasi. Dan bola baja yang berfungsi sebagai benda yang akan dilayangkan.
4. Sensor Posisi berfungsi untuk menentukan jarak benda dengan elektromagnet.
5. *Analog to Digital Converter* (ADC) berfungsi untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital



Gambar 1. Sistem *maglev ball*[1][2]

Model Matematis Sistem *Magnetic Levitation Ball* dalam skala laboratorium diperoleh dengan cara menurunkan

persamaan matematis masing-masing komponen sistem. Pada penelitian ini model matematis merujuk penelitian sebelumnya, sehingga yang dilakukan hanya melakukan validasi. Jika hasil keluaran yang dihasilkan sama dengan rujukan penelitian maka model matematis dianggap valid, sehingga dapat dilakukan perancangan pengendali dengan metode yang berbeda. Berdasarkan hasil penurunan model matematis diperoleh bentuk *state space* equation sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{-2k_F u_{ss}^2}{m(x_{1ss} - x_{L0})^3} & \frac{-k_{fv}}{m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{2k_F K_{DA} u_{ss}}{m(x_{1ss} - x_{L0})^2} \end{bmatrix} U_D \quad (1)$$

$$y = [k_x * K_{AD} \quad 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

Dengan mensubstitusikan nilai

$$U_{ss} = \sqrt{\frac{mg}{k_F}} (x_{1ss} - x_{L0}) \text{ model } state \text{ space}$$

menjadi :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{2g}{m(x_{L0} - x_{1ss})^3} & \frac{-k_{fv}}{m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{2k_F g K_{DA}}{m(x_{L0} - x_{1ss})^2} \end{bmatrix} U_D \quad (2)$$

$$y = [k_x * K_{AD} \quad 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

Tabel 1 Nilai-nilai parameter dari *magnetic ball levitation* [1][2]

Parameter	Symbol	Nilai
Diameter bola	D_k	12.7e-3m
Massa Bola	M	0.0084kg
Jarak dari dasar	T_d	0.0019 m
Batas jarak = 0.0019 - D_k	L	0.0063 m
Viscose friction	k_{fv}	0.02 N.s/m
Konstanta Gravitasi	G	9.81m/s ²
Aggregated	k_F	0.606x10 ⁻

coil constant		⁶ N/V
Penguatan Konverter	K_{DA}	10
Coil bias	x_{L0}	8.26x10 ⁻³ m
KONstanta sensor posisi	k_x	797.4603
Analog to digital converter gain	K_{AD}	0.2
Maximum DA converter output voltage	U_{Dam}	5 V
Coil resistance	R_c	3.5 Ω
Coil inductance	L_c	30x10 ⁻³ H
Current sensor gain	K_s	13.33
Power amplifier gain	K_{am}	100

Setelah mensubstitusikan nilai-nilai parameter dari *magnetic ball levitation* dari Tabel 1, *state space* (2) menjadi :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{1962}{(0.00826x_{1ss})^3} & -238 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{0.53206}{(0.00826x_{1ss})} \end{bmatrix} U_D \quad (3)$$

$$y = [15992060 \quad 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

Berdasarkan persamaan tersebut dilakukan modifikasi model dengan menurunkan persamaan matematis sistem untuk tiga posisi berbeda sebagai berikut :

Posisi 0.01m

$$[0.01 - ball \ diameter] = [0.01 - 0.005] \text{ so } x_{1ss} = \frac{[0.005]}{2} = 0.0025[4]$$

Substitusikan x_{1ss} pada persamaan (3), sehingga membentuk persamaan (4) :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 340625 & -2.381 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 9237 \end{bmatrix} U_D \quad (4)$$

$$y = [15949206 \ 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

Fungsi transfer didefinisikan : $G(s) = C(SI - A)^{-1}B$, sehingga

$$G(s) = [15949206 \ 0] \left(\begin{bmatrix} s & 0 \\ 0 & s \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 340625 & -2.381 \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 9237 \end{bmatrix}$$

$$G(s) = \frac{14732.281}{s^2 + 2.381s - 3406.25} = \frac{N(s)}{D(s)} \quad (5)$$

Close loop dari fungsi transfer tanpa kendali menjadi :

$$TF = \frac{G(s)}{1 + G(s)} = \frac{\frac{N(s)}{D(s)}}{1 + \frac{N(s)}{D(s)}} = \frac{N(s)}{N(s) + D(s)}$$

Kemudian fungsi transfer untuk posisi 0.01 m adalah sebagai berikut :

$$TF = \frac{14732.281}{s^2 + 2.381s + 10966.031} \quad (7)$$

Posisi 0.0125 m

[0.0125 – ball diameter] = [0.0125 – 0.005] sehingga $x_{1ss} = \frac{[0.0075]}{2} = 0.00375m$

$$G(s) = \frac{18815.27}{s^2 + 2.381s - 4350.33} = \frac{N(s)}{D(s)} \quad (8)$$

Kemudian fungsi transfer untuk posisi 0.012m adalah sebagai berikut :

$$TF = \frac{18815.27}{s^2 + 2.381s + 14464.94} \quad (9)$$

Posisi 0.015 m

[0.015 – ball diameter] = [0.015 – 0.005] sehingga $x_{1ss} = \frac{[0.01]}{2} = 0.005m$

$$G(s) = \frac{26030.69}{s^2 + 2.381s - 6018.40} = \frac{N(s)}{D(s)} \quad (10)$$

Kemudian fungsi transfer untuk posisi 0.015m adalah sebagai berikut

$$TF = \frac{26030.69}{s^2 + 2.381s + 20012.29} \quad (11)$$

Perancangan Pengendali PID-Gain Scheduling[7][8]

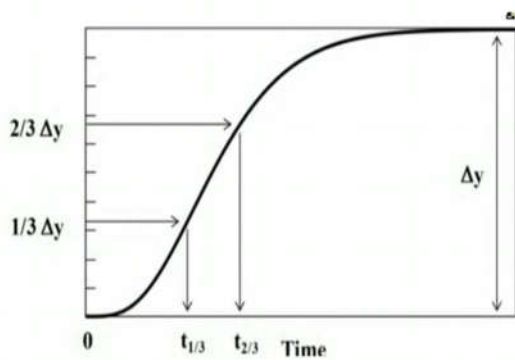
Perancangan pengendali PID-Gain Scheduling dimulai denganmendapatkan parameter PID yang sesuai untuk masing-masing posisi. Parameter PID diperoleh dengan metode heuristic. Langkah yang perlu dilakukan adalah mendapatkan Scheduler Variable (SV), untuk itu perlu dilakukan pengujian *Bump Test* dengan memberikan input pada pengendali (CO) seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Variabel Penjadwalan [7][8]

	Kp	Ti	TD
Kondisi 1: 0.01m<SV<0.0125m	Kp 1	Ti 1	TD1
Kondisi 2 : 0.0125m<SV<0.015m	Kp 2	Ti 2	TD2
Kondisi 3: SV>0.015m	Kp 3	Ti 3	TD3

untuk mendapatkan nilai SV terlebih dahulu dilakukan pengujian bump test dengan memberi respon tangga control output (CO) pada keadaan tetap, kemudian diperoleh fungsi transfer sebagai berikut :

$$G_p(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = \frac{K_p^{-\theta_p s}}{T_p s + 1} \tag{12}$$



Gambar 2. Pengujian Bump Test [7][8]

Dimana :

$$\tau_p = \frac{1}{0.7} (t_{2/3} - t_{1/3}) \tag{13}$$

$$\theta_p = t_{1/3} + 0.4\tau_p \tag{14}$$

$$K_p = \frac{\Delta y}{\Delta u} \tag{15}$$

Dengan :

K_p : Penguatan statis

θ_p : Waktu tunda

τ_p : Konstanta waktu

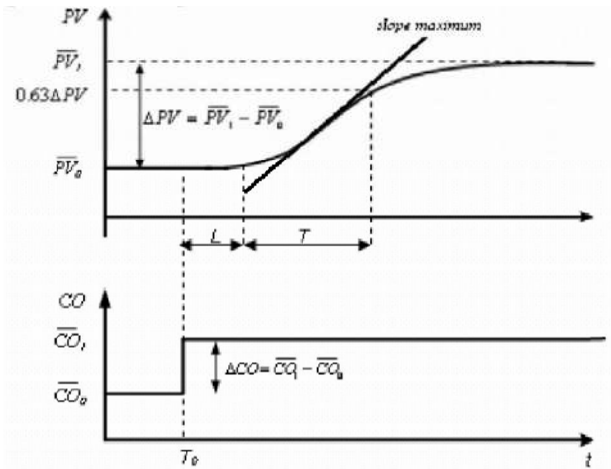
$t_{1/3}$: Nilai PV ketika 1/3 dari steady state

$t_{2/3}$: Nilai PV ketika 2/3 dari steady state

Δy : Perubahan steady state pada keluaran proses

Δu : Perubahan step pada masukan

Hasil diperoleh dengan melihat hasil keluran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil pengujian Bump Test [7][8]

Kemudian mendapatkan nilai K dengan menyelesaikan persamaan (16)

$$K = \frac{\Delta PV}{\Delta CO} = \frac{PV_1 - PV_0}{CO_1 - CO_0} \tag{16}$$

Setelah mendapatkan parameter gain scheduling , maka untuk mendapatkan parameter PID digunakan metode Ziegler-Nichols 1 yang diperlihatkan pada Tabel 3

Tabel 3. Rumus parameter PID dengan metode Ziegler-Nichols metode ke1.[7][8]

Pengendali	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{K.L}$	-	-
PI	$0,9 \frac{T}{K.L}$	3,33L	
PID	$1,2 \frac{T}{K.L}$	2L	0,5L

Sehingga diperoleh parameter gain scheduling yang sebagai berikut :

Tabel 4. Parameter PID untuk tiga kondisi

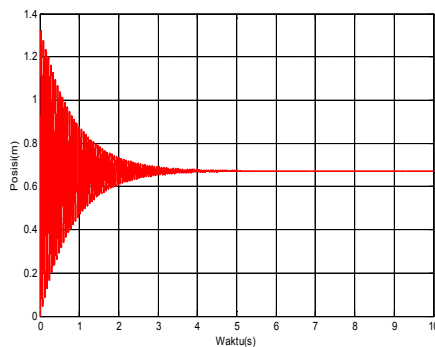
	Kp	Ti	TD
kondisi 1: 0.01m<SV<0.0125 m	1.04	1.4	0.35
kondisi 2: 0.0125m<SV<0.01 5m	1.02 7	1.39 4	0.34 8
kondisi 3: SV>0.015m	1.01	1.5	0.37 5

III. ANALISA DAN HASIL

Hasil Simulasi Sistem *Maglev Ball* Tanpa Pengendali

Berdasarkan persamaan (3) dibentuk fungsi transfer sistem magnetic levitation ball. Dan hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 4.

$$TF = \frac{Position}{Voltage} = \frac{x}{V} = \frac{14732.281}{s^2 + 2.381s + 10966.031} \quad (17)$$



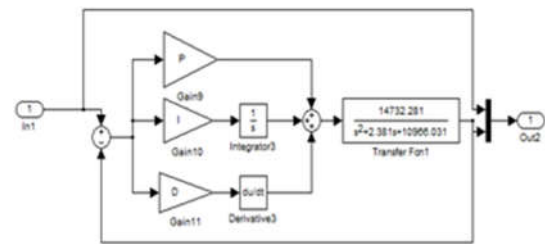
Gambar 4. Hasil Respon Keluaran Sistem *Maglev* Tanpa Pengendali

Berdasarkan Gambar 4, sistem diberikan masukan sebesar 0.5 v hasil menunjukkan bahwa sistem mengalami osilasi yang besar di awal, dan error yang cukup besar juga terjadi, hal ini

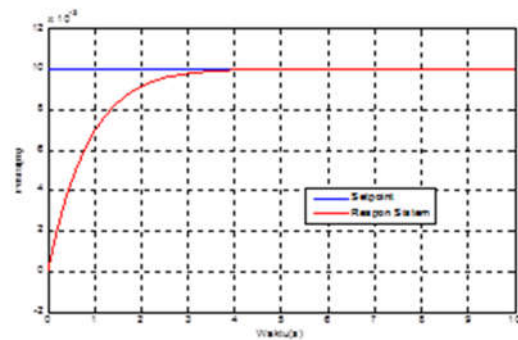
menunjukkan sistem *maglev* sangat tidak stabil.

Hasil Simulasi Sistem *Maglev Ball* dengan Pengendali PID-Gain Scheduling

Berdasarkan model matematis sistem dan desain kendali untuk tiga posisi menghasilkan respon sebagai berikut :

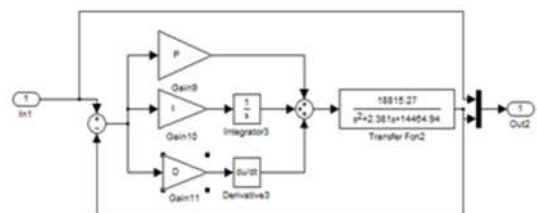


(a)

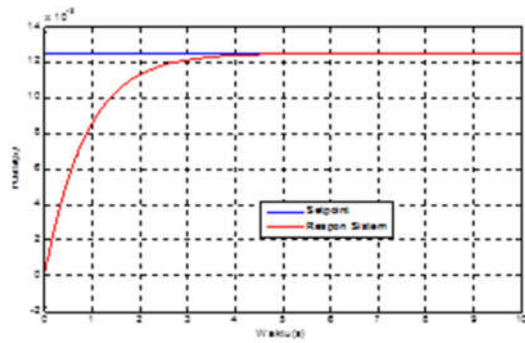


(b)

Gambar 5. (a) Blok diagram program simulasi untuk posisi 0.01m (b) Hasil Respon untuk posisi 0.01m menggunakan PID-Gain Scheduling

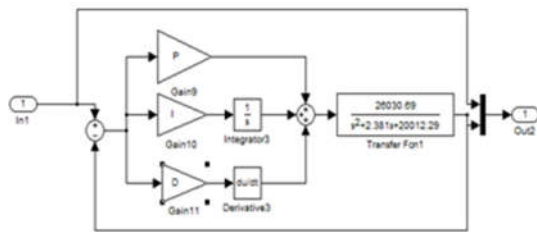


(a)

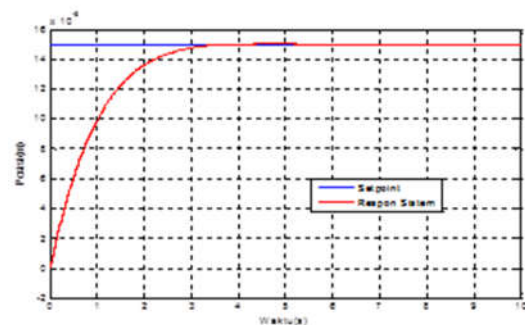


(b)

Gambar 6. (a) Blok diagram program simulasi untuk posisi 0.0125m (b) Hasil Respon untuk posisi 0.0125m menggunakan PID-Gain Scheduling



(a)



(b)

Gambar 7. (a) Blok diagram program simulasi untuk posisi 0.015m (b) Hasil Respon untuk posisi 0.015m menggunakan PID-Gain Scheduling

Tabel 5. Analisa Respon Sistem Maglev Ball Menggunakan Pengendali PID-Gain Scheduling

Analisa respon	Posisi 0.01m	Posisi 0.0125m	Posisi 0.015m
T	0.393 s	0.408 s	0.413 s
t_s	1.965 s	2.04 s	2.065 s
t_r	1.155 s	1.199 s	1.214 s
t_d	0.974 s	1.011 s	1.024 s
e_{ss}	0	0	0

Berdasarkan hasil respon dan hasil analisa respon untuk tiga posisi. Pengendali PID-Gain Scheduling mampu membuat sistem menjejaki setpoint yang diberikan untuk tiga posisi berbeda. Gain-scheduling juga mampu mengoptimalkan kinerja PID, dan menjadwalkan parameter PID yang sesuai dengan tiga kondisi yang berbeda tersebut. Terbukti dengan error minimum, dan kontanta waktu yang kecil menunjukkan pencapaian setpoint dalam waktu yang cepat.

Kesimpulan

1. Perancangan pengendali PID dengan optimasi *Gain Scheduling* untuk mengendalikan tiga kondisi posisi *magnetic levitation ball* telah berhasil dan menunjukkan performasi yang baik. Hal ini terbukti dari hasil *setpoint* yang diberikan berhasil dicapai, dan gangguan yang diberikan juga berhasil diatasi.
2. Pengendali *gain scheduling* berhasil mengoptimalkan pengendali PID terbukti dengan perubahan *setpoint* posisi *magnetic levitation ball* mampu diikuti oleh sistem.
3. Pengendalian posisi *magnetic levitation ball* pada posisi 0.01m, 0.0125m, 0.015m menggunakan

pengendali PID *gain scheduling* menunjukkan performansi yang baik dibuktikan dengan kontanta waktu yang diperoleh adalah $\tau = 0.393$ detik, $\tau = 0.408$ detik, $\tau = 0.413$ detik, dengan *error* minimum.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada mahasiswa : Rahmat Andi Kurniawan yang telah membantu melaksanakan penelitian ini

Daftar Pustaka

- [1] Hypiusová. Mária. *PID Controller Design For Magnetic Levitation Model*. Slovak University of Technology.2010
- [2] A.K.Mishra, R.Raina, dkk. “*Modeling and Simulation of Levitating Ball by Electromagnet using Bond Graph*”, Indian Institute of Technology Patna, 2013
- [3] C.Chen, Y.Sun. dkk. “ *Design of Magnetic Levitation Ball Control Based on Co-simulation of SIMULINK and ADAMS*”, College of Logistics Engineering, Shanghai Maritime University, China, 2016
- [4] M.S.Abu. Nasr. “*Fuzzy Gain Schedulling Control for Non-Linear System*”, The University of Gaza, Thesis Electrical Engineering, 2013
- [5] D.B.Wibowo dan Sindu Sutomo. “*Pemodelan dan Simulasi Sistem Control Magnetic Levitation Ball* ”, Universitas Diponegoro, 2011
- [6] Setiawan, Iwan. ***Kontrol PID Untuk Proses Industri***. ISBN: 978-979-27-4100-1, Elex Media Komputindo, 2008.
- [7] Ogata, Katsuhiko, “***Modern Control Engineering***”, Prentice-Hall, New Delhi, 2002.
- [8] Richard. Muhamad. ***Kontroler PID (PID Controller)***. Universitas Diponegoro. Semarang. 2013