

## Desain Pengendali Fuzzy – PID Untuk Mengendalikan Posisi Pada Sistem *Magnetic Levitation Ball*

Dian Mursyitah<sup>1</sup>, Ahmad Faizal<sup>2</sup>, Ewi Ismaredah<sup>3</sup>

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sulthan Syarif Kasim Riau<sup>123</sup>

Email : dmursyitah@uin-suska.ac.id<sup>1</sup>, ahmad.faizal@uin-suska.ac.id<sup>2</sup>, ewi.ismaredah@uin-suska.ac.id<sup>3</sup>

### ABSTRACT

*This study proposes the design of Fuzzy Logic controllers for controlling position in the Magnetic Levitation Ball system. The position of the magnetic levitation ball system needs to be controlled to avoid friction of the steel ball with the surface. The magnetic levitation ball system is a non-linear system shown by a fairly complex mathematical model, then the results of the open loop response have not yet reached the setpoint and show instability. Instability is indicated by the appearance of large oscillations. The solution method chosen is the Fuzzy Logic controller. Fuzzy logic is chosen because of its ability to facilitate the problem of mathematical complexity analytically, because its design is in accordance with human logic. The initial test results using fuzzy logic controllers with rule base 3x3 managed to make the system reach the setpoint, but have not succeeded in eliminating the oscillations that occur. For this reason, fuzzy logic controllers are combined with PID controllers. The final simulation results show a better response. The setpoint is reached, the fast response time is indicated by a time constant value of 0.0530 seconds, and perfectly damped oscillation*

**Keywords :** *Maglev Ball, Pengendali Logika Fuzzy, PID*

### INTISARI

Penelitian ini mengajukan perancangan pengendali Logika Fuzzy untuk pengendalian posisi pada sistem Magnetic Levitation Ball. Posisi pada sistem magnetic levitation ball perlu dikendalikan untuk menghindari gesekan bola baja dengan permukaan. Sistem magnetic levitation ball merupakan sistem non linier ditunjukkan oleh pemodelan matematis yang cukup kompleks, kemudian hasil respon sistem secara lup terbuka belum mencapai setpoint dan menunjukkan ketidakstabilan. Ketidakstabilan ditunjukkan dengan munculnya osilasi yang besar. Metode penyelesaian yang dipilih adalah pengendali Logika Fuzzy. Logika Fuzzy dipilih karena kemampuannya dalam memudahkan persoalan kompleksitas matematika secara analitik, karena perancangannya sesuai dengan logika manusia. Hasil pengujian awal menggunakan pengendali logika fuzzy dengan rule base 3x3 berhasil membuat sistem mencapai setpoint, namun belum berhasil menghilangkan osilasi yang terjadi. Untuk itu, pengendali logika fuzzy dikombinasikan dengan pengendali PID. Hasil simulasi akhir menunjukkan respon yang lebih baik.. Setpoint tercapai, respon waktu cepat ditunjukkan dengan nilai konstanta waktu sebesar 0,0530 detik, dan osilasi teredam sempurna.

Kata kunci: *Maglev Ball, Pengendali Logika Fuzzy, PID*

### I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di bidang transportasi kereta kini telah menggunakan magnetic levitation., Teknologi ini mampu membuat kereta melayang di atas rel dengan kecepatan yang sangat tinggi tanpa adanya gesekan antara rel dengan kereta. Prinsip kerja magnetic levitation ball adalah melayangkan benda di ruang bebas dengan menangkal gaya gravitasi yang bekerja padanya. Secara sederhana ini dapat disebut sebagai suspensi

stabil melawan gravitasi dari suatu obyek [1][2][3].

Penelitian tentang maglev ball telah dilakukan : pengendalian posisi maglev menggunakan pengendali PID. Hasil menunjukkan performansi yang baik namun, respon waktu menuju stabil cukup lama[1]. Penelitian *maglev ball* yang lain adalah pengendalian posisi *maglev ball* dengan pengendali PID – Gain scheduling. Penelitian tersebut mengendalikan tiga posisi bola baja.

Kombinasi *Gain scheduling* digunakan untuk menjadwalkan nilai PID sesuai posisi bola baja yang akan dikendalikan. Kelemahan pada penelitian ini, perubahan posisi mempengaruhi penalaan PID sehingga mempengaruhi respon waktu naik menjadi lambat[4]. Penelitian tentang *maglev ball* selanjutnya adalah pengendalian bola baja maglev menggunakan *Sliding Mode Controller*. Respon yang dihasilkan baik. Namun, masih terdapat kelemahan pada kestabilan yang disebabkan oleh *chattering* pada *sliding mode*. Kemudian, *error steady state* masih muncul walaupun diangka yang cukup kecil [5].

Pengendalian posisi maglev ball telah dilakukan juga dengan pengendali LQR. Hasil simulasi menunjukkan hasil yang baik, namun *overshoot* muncul sebesar 2.1052%, dan *error steady state* juga muncul saat sistem diberi gangguan. Artinya persoalan kestabilan belum mampu diatasi[6]. Beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, menunjukkan terdapat kekurangan maupun kelebihan dalam pengendalian posisi sistem *magnetic levitation ball*. Pada penelitian ini diajukan perancangan pengendali logika fuzzy untuk mengendalikan posisi pada sistem maglev ball. Alasan pemilihan pengendali fuzzy didasari pada kemampuannya yang mampu bekerja baik di sistem non linier[7]. Selain itu, kompleksitas model matematis dapat diselesaikan oleh fuzzy secara sederhana. Logika Fuzzy terkenal pula akan kemampuannya menerapkan kemampuan manusia secara logika dalam menyelesaikan permasalahan, karena tidak bergantung pada variabel tertentu[8]. Oleh sebab itu, sistem dengan model matematis yang kompleks dapat dengan mudah dikendalikan menggunakan logika *fuzzy*. Hal ini disebutkan di beberapa penelitian yang juga mengendalikan variabel yang sama yaitu posisi[7][8][9]. Hasil respon sistem yang dihasilkan menunjukkan performansi yang baik dari segi respon *time* maupun *error*.

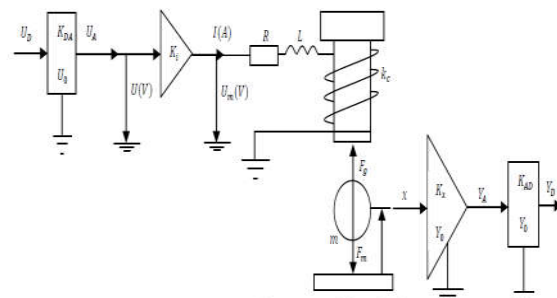
Namun, hasil pengujian simulasi pra penelitian menunjukkan munculnya osilasi yang

sangat besar, walaupun setpoint telah tercapai. Keunggulan yang telah dijabarkan ternyata tidak berlaku pada pengujian yang dilakukan pada sistem *magnetic levitation ball*. Hal ini kemungkinan besar terjadi karena perbedaan karakteristik sistem. Oleh sebab itu, akan dikombinasikan *fuzzy* dengan PID, karena kendali *Integral* (I) mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error*. Sementara kendali *Derivatif* (D) mempunyai keunggulan memperkecil *overshoot* [12][15].

## II. LANDASAN TEORI

### A. Magnetic Levitation Ball

*Magnetic levitation ball* adalah sebuah sistem yang terdiri atas bola baja yang disuspensi dalam sebuah medan magnet oleh tegangan listrik dengan cara mengendalikan arus pada saat mengalir pada kumparan elektromagnet yang terdiri dari sejumlah lilitan tembaga dan posisi kumparan tepat berada diatas bola baja. Pada sistem ini bola baja diasumsikan bergerak secara vertikal yaitu naik turun dan berhenti tepat pada posisi melayang dari posisi bola saat diletakkan dalam kondisi awal [1][2][3].



Gbr. 1 *Magnetic Levitation Ball*[2][10][11]

Gambar 1 berikut ini memperlihatkan model dan struktur pelayangan magnet pada bola baja (*magnetic levitation ball*). Adapun komponen dan struktur *Magnetic Levitation Ball* ini terdiri dari [2][10][11]:

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.

5. Sensor Posisi berfungsi untuk menentukan jarak benda dengan elektromagnet.
6. *Analog to Digital Converter* (ADC) berfungsi untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital.

### B. Model Matematis Sistem Magnetic Levitation Ball

Berdasarkan hasil penurunan model matematis diperoleh persamaan ruang keadaan sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{19.62}{(0.00826 - x_{1ss})} & -2.381 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{0.53206}{(0.00826 - x_{1ss})} \end{bmatrix} U_D$$

$$y = [159.49206 \quad 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

Dengan parameter ditunjukkan pada Tabel 1  
Tabel 1 Nilai-nilai parameter dari *magnetic levitation Ball* [2][10][11]

Parameter	Symbol	Value
Ball diameter	$D_k$	12.7e-3m
Ball mass	$M$	0.0084kg
Jarak dari dasar	$T_d$	0.019 m
Batas jarak = 0.0019 - $D_k$	$L$	0.0063 m
Viscose friction	$k_{fv}$	0.02 N.s/m
Gravity Acceleration constant	$G$	9.81m/s <sup>2</sup>
Aggregated coil constant	$k_F$	0.606x10 <sup>-6</sup> N/V
Converter gain	$K_{DA}$	10
Coil bias	$x_{L0}$	8.26x10 <sup>-3</sup> m
Position sensor constant	$k_x$	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 $\Omega$
Coil inductance	$L_c$	30x10 <sup>-3</sup> H
Current sense gain	$K_s$	13.33
Power amplifier gain	$K_{am}$	100

Berdasarkan Tabel 1 diperoleh persamaan ruang keadaan sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{19.62}{(0.00826 - x_{1ss})} & -2.381 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{0.53206}{(0.00826 - x_{1ss})} \end{bmatrix} U_D$$

$$y = [159.49206 \quad 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

C. Model matematis untuk posisi 0,019 m  
Substitusikan  $x_{1ss}$  pada parameter *state space* (15), maka hasil model *state space* menjadi:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 3839.53 & -2.381 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 104.2 \end{bmatrix} U_D$$

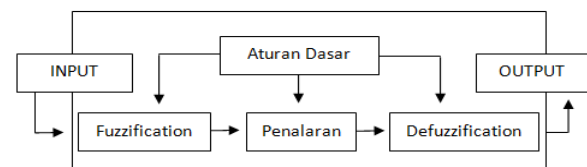
$$y = [159.49206 \quad 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

Diubah ke dalam bentuk fungsi penghantar sebagai berikut :

$$TF = \frac{16606.313}{s^2 + 2.381s + 12766.783}$$

### D. Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* merupakan suatu logika atau cara untuk memetakan ruang input ke dalam suatu ruang *output*. Dasar logika *fuzzy* adalah teori himpunan *fuzzy*, peranan derajat keanggotaan sebagai penentu keberadaan elemen dalam suatu himpunan sangatlah penting. Nilai keanggotaan atau derajat keanggotaan atau *membership function* menjadi ciri utama dari penalaran dengan logika *fuzzy* tersebut [13][14].



Gbr. 2 Struktur umum kendali logika *fuzzy* [13][14]

### E. PID

PID (*Proportional Integral Derivative*) merupakan kendali yang digunakan untuk menentukan kepresisian suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik / *feedback* pada sistem tersebut [19]. Adapun bentuk umum dari aksi kendali PID sebagai berikut [12][15]:

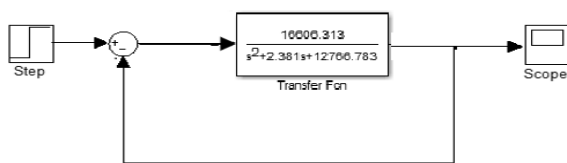
$$u(t) = K_p + K_i \int_0^t e(t)dt + K_d \frac{de}{dt}$$

### III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian meliputi studi literatur, pengumpulan data, validasi model matematis, peancangan pengendali logika fuzzy dan PID, hasil dan analisa, dan penarikan kesimpulan.

#### A. Validasi model matematis sistem Maglev Ball

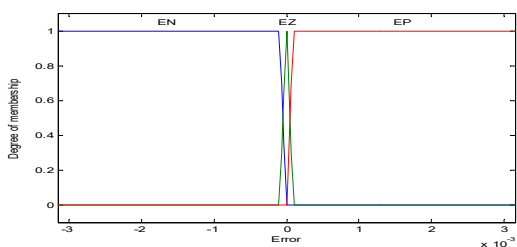
Berdasarkan fungsi alih yang diperoleh kemudian dikonfigurasi ke dalam bentuk blok simulink matlab seperti Gambar 3.



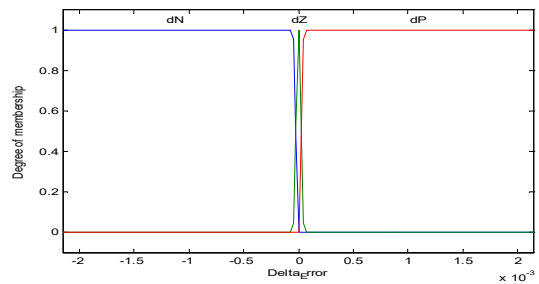
Gbr. 3 Blok simulink Maglev Ball

#### B. Perancangan Pengendali Logika Fuzzy

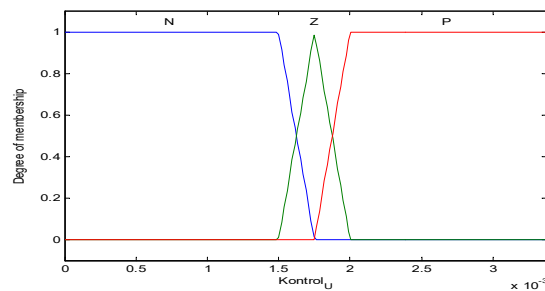
Variabel masukan *error* akan bernilai negatif jika nilai posisi *magnetic levitation ball* berada diatas nilai *setpoint* yang diinginkan dan bernilai positif jika posisi *magnetic levitation ball* dibawah *setpoint*. Tipe *membership function* yang dipakai adalah jenis trapesium, dan segitiga. Untuk nilai *membership function output* dilakukan dengan metode *heuristic* sehingga didapatkan nilai untuk *membership function error* dan *derror* dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7 sedangkan *membership function output* dapat dilihat pada gambar 8. Fungsi keanggotaan *error* memiliki jangkauan -0.00315 m hingga 0.00315 m. Fungsi keanggotaan *error* terdiri dari tiga yaitu EN (negatif), EZ (zero) dan EP (positif).



Gbr. 4 Fungsi keanggotaan input Error

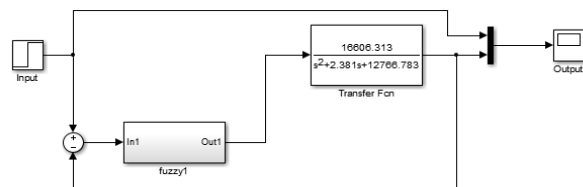


Gbr. 5 Fungsi keanggotaan input DeltaError



Gbr. 6 Fungsi keanggotaan output Control U  
 Tabel 2 Rule base pengendali fuzzy

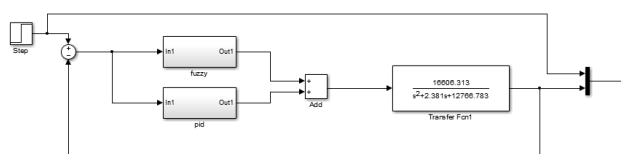
Error dError	EN	EZ	EP
dN	N	Z	P
dZ	N	Z	P
dP	N	Z	P



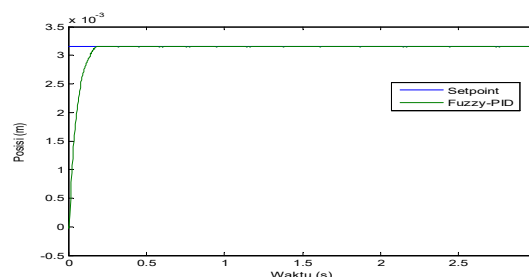
Gbr. 7 Blok diagram Simulink magnetic levitation ball dengan pengendali Fuzzy

#### C. Perancangan Pengendali Logika Fuzzy – PID

Setelah dirancang pengendali fuzzy dan PID secara terpisah maka tahap selanjutnya adalah mengombinasikan kedua pengendali tersebut dimana tujuannya adalah untuk mencapai performansi sistem yang lebih cepat serta *error* yang minimum. Berikut adalah blok diagram simulink dari hybrid fuzzy-PID



Gbr. 8 Blok diagram Simulink *magnetic levitation ball* dengan pengendali *hybrid fuzzy-PID*

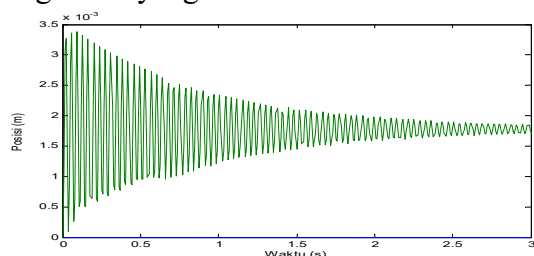


Gbr. 11 Respon keluaran *coupled tank* menggunakan pengendali *hybrid fuzzy-PID*  
Tabel 3 Analisa Respon Sistem Menggunakan Pengendali *Hybrid Fuzzy-PID* Saat Mencapai *Setpoint*

Analisa Respon	<i>Hybrid Fuzzy-PID</i>
$T$	0.0530 detik
$t_d$	0.0372 detik
$t_r$	0.0882 detik
$t_p$	0 detik
$t_s$	0.265 detik
Ess	0 m

#### IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

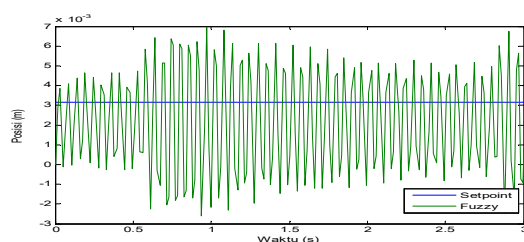
A. Hasil respon validasi model matematis  
Hasil respon sistem maglev ball tanpa pengendali berdasarkan model matematis fungsi alih yang telah diturunkan



Gbr. 9 Grafik respon keluaran *magnetic levitation ball*

B. Hasil respon sistem dengan pengendali Fuzzy

Hasil respon sistem menggunakan pengendali logika fuzzy yang dirancang ditunjukkan pada Gambar berikut :



Gbr. 10 Respon keluaran sistem *magnetic levitation ball* menggunakan pengendali Fuzzy

C. Hasil respon sistem dengan pengendali Fuzzy- PID

Pengujian dengan simulasi pengendali *Hybrid Fuzzy-PID* dilakukan untuk diamati respon keluaran pengendali dalam mencapai *setpoint* pada *plant*.

#### V. KESIMPULAN

Setelah dilakukan proses simulasi, analisa dan pembahasan, maka diperoleh kesimpulan bahwa pengendalian posisi pada *magnetic levitation ball* menggunakan pengendali *hybrid fuzzy-PID* mempunyai performansi yang lebih baik dari *fuzzy*, ditinjau dari nilai parameter identifikasi sistem ( $\tau$ ,  $t_d$ ,  $t_r$ ,  $t_p$ ,  $t_s$  dan  $Ess$ ). Hal ini dibuktikan dengan nilai respon *transient* yaitu nilai konstanta waktu sebesar 0.0530 detik, waktu tunda sebesar 0.0372 detik, waktu naik sebesar 0.0882 detik, waktu tunak sebesar 0.265 detik, waktu puncak sebesar 0 detik, serta error steady state yang kecil yaitu sebesar 0 m. Sehingga dapat dikatakan bahwa pengendali *hybrid fuzzy-PID* yang dirancang telah bekerja dengan baik dalam meningkatkan performansi

#### DAFTAR PUSTAKA

[1] D.B Wibowo dan Sindu Sutomo. “ *Pemodelan dan Simulasi Sistem Control Magnetic Lavitation Ball*”. Universitas Diponegoro, 2012

- [2] Williams, Lance. “*Electromagnetic Levitation Thesis*”. 2005
- [3] Rachman, Arief dan Erna Apriliani. “*Estimasi Posisi Magnetic Levitation Ball Menggunakan Metode Ensemble Kalman Filter (EnKF)*”. Jurusan Matematika, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh November, 2012.
- [4] Mursyitah, Dian, dkk. “*Desain Pengendali PID- Gain Scheduling untuk pengendalian posisi pada sistem magnetic levitation ball*”. Jurnal Ecotipe Vol 5 No 2. P-ISSN 2355-5068, E- ISSN 2622-4852. 2018
- [5] Mardhotillah, Dara. “*Perancangan Pengendali Sliding Mode dengan Optimasi PID untuk Pengendalian Posisi pada Sistem Magnetic Levitation Ball*”. Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2017
- [6] Mursyitah, Dian, dkk. “*Pengendalian posisi pada sistem magnetic levitation ball menggunakan pengendali optimal metode LQR*”, Prosiding SNTIKI 10 UIN SUSKA RIAU. 2018
- [7] Wicaksono Pandhu dkk. “*Kendali Posisi Cannon Army Tank Menggunakan Embedded Fuzzy Logic Control*”. Jurusan Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Jl. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia.
- [8] Nadhif Mohamad dkk. “*Aplikasi Fuzzy Logic untuk Pengendali Motor DC Berbasis Mikrokontroler ATmega8535 dengan Sensor Photodiode*”. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Indonesia.
- [9] Hamed Basil dkk. “*Fuzzy PID Controllers Using FPGA Technique for Real Time DC Motor Speed Control*”. Electrical Engineering Department, Islamic University of Gaza, Gaza, Palestine.
- [10] Khaled, A. M. Ali. “*Modeling and Parameters Identification of A Magnetic Levitation Model*”. The Islamic University of Gaza, 2009.
- [11] M.S.Abu. Nasr. “*Fuzzy Gain Scheduling Control For Non-Linear Systems*”. The Islamic University of Gaza, 2013.
- [12] Ogata. Katsuhito. “*Modern Control Engineering Fourth Edition*”. Prince Hall, 1970.
- [13] Sudrajat. “*Modul Kuliah : Dasar – Dasar Fuzzy Logic*”. Bandung : Univ. Padjadjaran, 2008. [Ebook] Tersedia: [https://www.academia.edu/7247080/Dasar\\_dasar\\_fuzzy\\_logic](https://www.academia.edu/7247080/Dasar_dasar_fuzzy_logic).
- [14] Sri Kusumadewi, Hari Purnomo. “*Aplikasi Logika Fuzzy*”. Yogyakarta. 2013.
- [15] Ferdiansyah. Fendi. “*Teori Kontrol PID (Proportional-Integral-Derivative)*”. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Banten.