



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**DESAIN KONTROL OPTIMAL *FUZZY-PID* PADA *PLANT*
PENGENDALI POSISI SUDUT BERBASIS *GENETIC*
*ALGORITHM***

TESIS

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**
MOCHAMMAD DEDY DWI SETYAWAN
2309511003

**PROGRAM STUDI MAGISTER TERAPAN TEKNIK ELEKTRO
REKAYASA KONTROL INDUSTRI
PASCA SARJANA POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
DEPOK
JULI 2025**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**DESAIN KONTROL OPTIMAL *FUZZY-PID* PADA *PLANT*
PENGENDALI POSISI SUDUT BERBASIS *GENETIC*
*ALGORITHM***

TESIS

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan mencapai derajat
Magister Terapan dalam Bidang Rekayasa Kontrol Industri

MOHAMMAD DEDY DWI SETYAWAN
2309511003

**PROGRAM STUDI MAGISTER TERAPAN TEKNIK ELEKTRO
REKAYASA KONTROL INDUSTRI
PASCA SARJANA POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
DEPOK
JULI 2025**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis ini saya susun tanpa tindakan plagiarisme sesuai dengan peraturan yang berlaku di Politeknik Negeri Jakarta.

Jika di kemudian hari ternyata saya melakukan tindakan plagiarisme, saya akan bertanggung jawab sepenuhnya dan menerima sanksi yang diajukan oleh Politeknik Negeri Jakarta kepada saya.

Depok, 02 Juli 2025

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Mochammad Dedy Dwi Setyawan

NIM : 2309511003



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis yang saya susun ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Mochammad Dedy Dwi Setyawan

NIM : 230951003

Tanda Tangan :

Tanggal : 02 Juli 2025





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini yang diajukan oleh:

Nama : Mochammad Dedy Dwi Setyawan
NIM : 2309511003
Program Studi : Magister Terapan Teknik Elektro
Judul : Desain Kontrol Optimal *Fuzzy-PID* pada *Plant* Pengendali Posisi Sudut Berbasis *Genetic Algorithm*

telah diuji oleh Tim Penguji dalam Sidang Tesis pada hari Rabu tanggal 02 Juli tahun 2025 dan dinyatakan LULUS untuk memperoleh derajat gelar Magister Terapan pada Program Studi Magister Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta.

Disetujui oleh:

Pembimbing I : Nana Sutarna, S.T., M.T., Ph.D. ()

Pembimbing II : Dr. Murie Dwiyaniti, S.T., M.T. ()

Penguji I : Dr. Isdawimah, S.T., M.T. ()

Penguji II : Dr. Prihatin Oktivasari, S.Si., M.Si. ()

Penguji III : Mera Kartika Delimayanti, S.Si., M.T., Ph.D. ()

Depok, 02 Juli 2025

Diketahui oleh

Ketua Program Pascasarjana Politeknik Negeri Jakarta



(Dr. Isdawimah, S.T., M.T.)

NIP. 196305051988112001

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas rahmat dan ridho Allah SWT yang telah memberikan karunia kesehatan, waktu, ilmu, kekuatan dan kesempatan, sehingga dapat menyelesaikan Tesis kami yang berjudul “Desain Kontrol Optimal *Fuzzy-PID* pada *Plant* Pengendali Posisi Sudut Berbasis *Genetic Algorithm*”. Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Magister Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta.

Dalam proses pembuatan tesis ini tidak luput dari keterlibatan beberapa pihak sehingga dapat diselesaikan dengan sesuai rencana. Untuk itu kami ucapkan rasa terima kasih yang tak terhingga kepada :

1. Kedua Orang tua kami Ayah **Sudadi**, Ibunda **Masnuraini Khusnul Mualimah**, istriku **Khoirunnisa Fauziah Asyikin, S.T.** serta keluarga besar Sidoarjo yang selalu memberikan dukungan moril, motivasi dan do’a yang tidak terhingga.
2. Kedua Orang Tua kami **Achmad Zainal Asyikin** dan Ibunda **Nani Anisyah** serta keluarga besar Cimahi yang selalu memberikan dukungan moril, motivasi dan do’a yang tidak terhingga.
3. Bapak **Nana Sutarna, S.T., M.T., Ph.D.** selaku Kepala Program Magister Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta sekaligus sebagai dosen pembimbing 1.
4. Ibu **Dr. Murie Dwiyaniti, S.T., M.T.** selaku dosen pembimbing 2, yang telah memberikan bimbingan dan dukungan dalam penyusunan tesis ini.
5. Ibu **Dr. Isdawimah, S.T., M.T.** selaku Kepala Program Pascasarjana Politeknik Negeri Jakarta.
6. Segenap dosen dan staff Program Studi Magister Terapan Teknik Elektro atas kontribusinya baik secara langsung, maupun tidak langsung yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu selama menjalani perkuliahan dan penyusunan tesis ini.
7. Rekan – rekan Program Studi Magister Terapan Teknik Elektro, Program Pascasarjana Politeknik Negeri Jakarta.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hasil penelitian ini tentu masih sangat banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan masukan yang dapat memperkaya keilmuan di dalam laporan tesis ini.

Semoga tulisan tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua akademika, khususnya bagi penulis dan masyarakat pada umumnya, karena sebaik – baiknya ilmu adalah ilmu yang bermanfaat bagi orang lain.

Depok, 02 Juli 2025

Mochammad Dedy Dwi Setyawan

NIM : 2309511003





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK

Sebagai sivitas akademik Politeknik Negeri Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mochammad Dedy Dwi Setyawan
NIM : 2309511003
Program Studi : Magister Terapan Teknik Elektro
Pascasarjana Politeknik Negeri Jakarta
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Politeknik Negeri Jakarta Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Rights*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Desain Kontrol Optimal *Fuzzy-PID* pada Plant Pengendali Posisi Sudut Berbasis
Genetic Algorithm

Beserta perangkat yang ada. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Politeknik Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan/mengalihformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Depok, 02 Juli 2025

Mochammad Dedy Dwi Setyawan
NIM : 2309511003

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ABSTRAK

Penentuan posisi sudut suatu benda dalam ruang udara sangat penting untuk diperhatikan pada beragam jenis proses industri. Penelitian ini bertujuan merancang desain dan mengimplementasikan sistem kendali *Fuzzy-PID* dengan optimasi menggunakan *Genetic Algorithm* (GA) pada *plant* pengendali posisi sudut. Sistem kendali *Fuzzy-PID* merupakan konversi dari metode sistem kendali PSO-PID pada penelitian sebelumnya pada *plant* yang sama. Proses konversi dilakukan dengan perhitungan matematis dengan menghitung nilai *range input error* (a_e), *range output* (a_u), *range input integral error* (a_i), dan *range input derivative error* (a_d). Hasil perhitungan tersebut akan menjadi nilai *Operating Range* (OR) pada *Fuzzy Logic Designer* yang merupakan fitur *software Matlab* untuk membuat desain logika *Fuzzy*. Jumlah *Membership Function* (MF) *input* adalah 5 dan *output* adalah 13 yang berada dalam nilai OR dan membentuk pola segitiga sama sisi. *Non-Linear Factor* (γ) merupakan faktor penentu bentuk MF. Nilai OR dan γ merupakan parameter *tuning* dari sistem kendali *Fuzzy-PID*. *Tuning* dilakukan dengan algoritma GA. Hasil optimasi sistem kendali *Fuzzy-PID* dengan GA menunjukkan *response time* sistem lebih baik daripada sistem kendali PSO-PID. Hasil simulasi pada *Matlab* menunjukkan sistem kendali *Fuzzy-PID* dengan optimasi GA dapat menghilangkan *overshoot* menjadi 0% dan *settling time* sistem 54,3% lebih cepat daripada sistem kendali PSO-PID. Hasil implementasi Sistem kendali *Fuzzy-PID* pada *plant* pengendali posisi sudut menunjukkan *overshoot* hanya sebesar 0.46%, *settling time* 3.02 detik, dan *error steady state* 0.04% lebih baik dibanding sistem kendali PSO-PID dengan *overshoot* 16.94%, *settling time* 4.71 detik dan *error steady state* 0.35%. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap perkembangan sistem kontrol pada *plant* dengan orde tinggi serta tingkat presisi sistem kendali pada beragam proses industri.

Kata kunci: PSO-PID, *Fuzzy-PID*, *Operating Range*, *Membership Function*, *Genetic Algorithm*

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ABSTRACT

Determining the angular position of an object in airspace is crucial for various industrial processes. This study aims to design and implement a Fuzzy-PID control system with optimization using a Genetic Algorithm (GA) in an angular position control plant. The Fuzzy-PID control system is a conversion of the PSO-PID control system method used in previous research at the same plant. The conversion process is carried out mathematically by calculating the input error range (α_e), output error range (α_u), input integral error range (α_i), and input derivative error range (α_d). The results of these calculations will be converted into Operating Range (OR) values in Fuzzy Logic Designer, a Matlab software feature for creating fuzzy logic designs. The number of input Membership Functions (MFs) is 5 and the output is 13, which are within the OR value and form an equilateral triangle pattern. The Non-Linear Factor (γ) determines the shape of the MF. The OR and γ values are tuning parameters for the Fuzzy-PID control system. Tuning is performed using the GA algorithm. The results of the Fuzzy-PID control system optimization with GA showed a better system response time than the PSO-PID control system. Simulation results in Matlab showed that the Fuzzy-PID control system with GA optimization can eliminate overshoot to 0% and the system settling time is 54.3% faster than the PSO-PID control system. The implementation of the Fuzzy-PID control system in an angular position control plant showed an overshoot of only 0.46%, a settling time of 3.02 seconds, and a steady-state error of 0.04%, better than the PSO-PID control system with an overshoot of 16.94%, a settling time of 4.71 seconds, and a steady-state error of 0.35%. This research contributes to the development of high-order plant control systems and the level of control system precision in various industrial processes.

Keywords: *PSO-PID, Fuzzy-PID, Operating Range, Membership Function, Genetic Algorithm*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK	vii
ABSTRAK.....	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
BAB I.....	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Rumusan Masalah.....	3
I.3. Tujuan Penelitian	3
I.4. Batasan Penelitian.....	3
I.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II.....	5
II.1 Sistem Kendali <i>Fuzzy</i>	5
II.2. Sistem Kendali <i>Proportional, Integral, Derivative (PID)</i>	6
II.3. Perbandingan <i>Fuzzy</i> dan PID.....	7
II.4. Sistem Kendali <i>Fuzzy-PID</i>	8
II.5. Algoritma Optimasi	9
II.6. Optimalisasi Sistem Kendali <i>Fuzzy-PID</i> dengan <i>Genetic Algorithm</i>	10
II.7. Kajian Penelitian Terdahulu	11
BAB III	13
III.1. Membuat Pemodelan Matematika pada <i>Plant</i> Pengendali Posisi Sudut.....	13



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

III.2. <i>Tuning</i> PSO-PID <i>Plant</i> Pengendali Posisi Sudut	15
III.3. Konversi PSO-PID <i>Plant</i> Pengendali Posisi Sudut ke <i>Fuzzy</i>	17
III.4. Teknik Optimasi <i>Fuzzy – PID</i>	22
III.5 Desain Optimal <i>Fuzzy-PID Controller</i> dengan <i>Genetic Algorithm</i> pada <i>Plant</i> Pengendali Posisi Sudut	24
III.6. Rancangan Desain Mekanik <i>Plant</i> Pengendali Posisi Sudut	26
III.7. Pengujian Hasil Optimasi Sistem Kendali <i>Fuzzy-PID</i> dengan <i>Genetic Algorithm</i> pada <i>Plant</i> Pengendali Posisi Sudut	28
BAB IV	30
IV.1. Hasil Penelitian	30
IV.1.1. Membuat Pemodelan Matematika <i>Plant</i> Pengendali Posisi Sudut.....	30
IV.1.1.1. Pengujian Sistem Kontrol Terbuka	30
IV.1.1.2. Menentukan Nilai <i>Transfer Function</i> Sistem dengan MATLAB.....	31
IV.1.1.3. Verifikasi Nilai <i>Transfer Function</i> Hasil Estimasi	33
IV.1.2. <i>Tuning</i> PSO-PID <i>Plant</i> Pengendali Posisi Sudut	33
IV.1.3. Konversi PSO-PID <i>Plant</i> Pengendali Posisi Sudut ke <i>Fuzzy-PID</i>	34
IV.1.3.1 Simulasi PSO-PID pada Simulink Matlab	34
IV.1.3.2 Hasil Desain Sistem Kendali PSO-PID Hasil Konversi <i>Fuzzy</i>	35
IV.1.4 Desain Kontrol Optimal <i>Fuzzy-PID</i> dengan <i>Genetic Algorithm</i> pada <i>Plant</i> Pengendali Posisi Sudut	37
IV.1.4.1 <i>Tuning Operating Range Input</i> dan <i>Output</i> pada Sistem Kendali <i>Fuzzy-PID</i>	37
IV.1.4.1.1 <i>Tuning Operating Range Fuzzy-PID Input</i> Diperbesar Lima Kali dan <i>Output</i> Tetap.....	37
IV.1.4.1.2 <i>Tuning Operating Range Fuzzy-PID Input</i> Diperbesar Sepuluh Kali dan <i>Output</i> Tetap.....	38
IV.1.4.1.3 <i>Tuning Operating Range Fuzzy-PID Output</i> Diperbesar 1.8 Kali dan <i>Input</i> Tetap.....	39
IV.1.4.1.4 <i>Tuning Operating Range Fuzzy-PID Output</i> Diperbesar Dua Kali dan <i>Input</i> Tetap.....	40
IV.1.4.2 <i>Tuning</i> Distribusi Nilai <i>Membership Function Fuzzy-PID</i>	41



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

IV.1.4.2.1 <i>Tuning</i> Distribusi Nilai <i>Membership Function Fuzzy-PID</i> dengan Nilai $\gamma < 1$	42
IV.1.4.2.2 <i>Tuning</i> Distribusi Nilai <i>Membership Function Fuzzy-PID</i> dengan Nilai $\gamma > 1$	43
IV.1.4.3 Optimasi Nilai <i>Operating Range</i> dan Faktor <i>Non-Linier</i> Distribusi <i>Membership Function</i> dengan <i>Genetic Algorithm</i>	44
IV.1.4.4 Pengujian Pengaruh Bentuk <i>Membership Function</i> pada Output <i>Fuzzy-PID</i> Optimasi GA	46
IV.1.5 Desain <i>Plant</i> Pengendali Posisi Sudut	47
IV.1.5.1 Desain <i>Hardware Plant</i> Pengendali Posisi Sudut.....	47
IV.1.5.2 Desain Mekanik <i>Plant</i> Pengendali Posisi Sudut.....	47
IV.2 Pembahasan Pengujian Hasil Optimasi Sistem Kendali <i>Fuzzy-PID</i> dengan <i>Genetic Algorithm</i> pada <i>Plant</i> Pengendali Posisi Sudut.....	49
IV.2.1 Analisa Pengujian Sensor Posisi Sudut.....	49
IV.2.2 Pengujian <i>Response Time Plant</i> Tanpa Beban.....	50
IV.2.3 Pengujian <i>Response Time Plant</i> Beban 25 gr	51
IV.2.4 Pengujian <i>Response Time Plant</i> Beban 50 gr	52
IV.2.5 Pengujian <i>Response Time Plant</i> Beban 75 gr	53
IV.2.6 Pengujian <i>Response Time Plant</i> dengan Gangguan Lingkungan dan Variasi Beban.....	54
IV.3 Perbandingan Kinerja Sistem Kendali <i>Fuzzy-PID</i> Sebelum dan Sesudah Optimasi GA	56
IV.4 Uji Statistik T Test pada Parameter <i>Response Time Fuzzy-PID</i> dan <i>Fuzzy-PID</i> Optimasi GA	57
BAB V	60
V.I. Simpulan	60
V.II. Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	61

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Alir Proses Sistem Kendali <i>Fuzzy</i> [12]	6
Gambar 2. 2 Struktur Sistem Kendali PID [8]	7
Gambar 3. 1 Tahapan Proses Identifikasi Sistem	13
Gambar 3. 2 Diagram Alir Pengujian Sistem Kontrol Terbuka.....	14
Gambar 3. 3 Estimasi Nilai Transfer Function dengan ARX pada Simulink.....	14
Gambar 3. 4 Verifikasi Nilai Estimasi Transfer Function pada Simulink.....	15
Gambar 3. 5 Struktur Sistem Kendali PSO-PID.....	16
Gambar 3. 6 <i>Flowchart</i> Algoritma Optimasi PSO.....	16
Gambar 3. 7 Diagram Alir Proses Konversi PID ke <i>Fuzzy-PID</i> [7]	17
Gambar 3. 8 Desain Fuzzy Hasil Konversi PSO-PID.....	19
Gambar 3. 9 Fuzzy Associative Memory (FAM)[8]	21
Gambar 3. 10 Membership Function Setiap Output dan Input [10]	22
Gambar 3. 11 Distribusi Membership Function Input Berdasarkan NonLinier Factor [10]	23
Gambar 3. 12 Distribusi Membership Function Output Berdasarkan NonLinier Factor [10]	23
Gambar 3. 13 Diagram Alir Optimasi <i>Fuzzy-PID</i> dengan <i>Genetic Algorithm</i> [10]	24
Gambar 3. 15 Desain Mekanik <i>Plant</i> Sistem Pengendali Posisi Sudut [4]	27
Gambar 4. 1 Hasil Pengujian Sistem Kontrol Terbuka.....	30
Gambar 4. 2 Estimasi Nilai Transfer Function dengan ARX pada Simulink.....	31
Gambar 4. 3 Verifikasi Nilai Estimasi Transfer Function pada Simulink.....	32
Gambar 4. 4 Hasil Permodelan dengan Orde 4.....	32
Gambar 4. 5 Hasil Verifikasi Nilai Transfer Function	33
Gambar 4. 6 Hasil Tuning PID dengan Algoritma PSO	34
Gambar 4. 7 Simulasi Sistem Kendali PID dengan nilai K_p , K_i , K_d dari Tuning PSO pada Simulink Matlab.....	34
Gambar 4. 8 Hasil Simulasi Kendali PSO-PID pada <i>Plant</i>	35
Gambar 4. 9 Proses Konversi PSO-PID ke Bentuk <i>Fuzzy Logic</i>	36
Gambar 4. 10 Hasil Konversi PSO-PID ke Bentuk Fuzzy Logic (Fuzzy-PID).....	36

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4. 11 Perbandingan Grafik Time Response PSO-PID dan Fuzzy-PID Hasil Konversi PSO-PID.....	37
Gambar 4. 12 Hasil Simulasi Kinerja Sistem Kendali Fuzzy-PID Operating Range Lima Kali.....	38
Gambar 4. 13 Hasil Simulasi Kinerja Sistem Kendali Fuzzy-PID Operating Range Input Sepuluh Kali.....	39
Gambar 4. 14 Hasil Simulasi Kinerja Sistem Kendali Fuzzy-PID Operating Range Output 1.8 Kali.....	40
Gambar 4. 15 Hasil Simulasi Kinerja Sistem Kendali Fuzzy-PID Operating Range Output Dua Kali.....	41
Gambar 4. 16 Bentuk Distribusi <i>Membership Function</i> dengan Nilai <i>Gamma</i> (γ) dibawah Satu.....	42
Gambar 4. 17 Hasil Simulasi Kinerja Kendali Fuzzy-PID Ekuivalen Tuning Nilai Non-Linier Factor < 1	43
Gambar 4. 18 Bentuk Distribusi <i>Membership Function</i> dengan Nilai <i>Gamma</i> (γ) diatas Satu	43
Gambar 4. 19 Hasil Simulasi Kinerja Kendali Fuzzy-PID Ekuivalen Tuning Nilai Non-Linier Factor > 1	44
Gambar 4. 20 Hasil Optimasi Respon Plant dengan GA.....	45
Gambar 4. 21 Performa GA pada Setiap Generasi	46
Gambar 4. 22 Perbandingan Output Fuzzy-PID Optimasi GA dengan Berbagai Bentuk MF	46
Gambar 4. 23 Blok Diagram Desain Hardware Plant.....	47
Gambar 4. 24 Desain Mekanik Plant Sistem Pengendali Posisi Sudut.....	48
Gambar 4. 25 Realisasi Plant Sesuai Desain	48
Gambar 4. 26 Pengujian Sensor MPU6050	49
Gambar 4. 27 Perbandingan Respon Sistem kendali PSO-PID dan Fuzzy-PID Optimasi GA pada Plant Pengendali Posisi Sudut	50
Gambar 4. 28 Respon Plant Pengendali Posisi Sudut dengan Gangguan Beban 25gr	51
Gambar 4. 29 Respon Plant Pengendali Posisi Sudut dengan Gangguan Beban 50gr	52
Gambar 4. 30 Respon Plant Pengendali Posisi Sudut dengan Gangguan Beban 75gr	53



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4. 31 Simulasi Pengujian Plant dengan Gangguan Lingkungan	54
Gambar 4. 32 Pengujian Plant dengan Gangguan Lingkungan	54
Gambar 4. 33 Hasil Pengujian Plant pada Gangguan Lingkungan dan Variasi Beban	55



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Sistem Kontrol Terbuka	30
Tabel 4. 2 Hasil Simulasi Sistem Kendali PSO-PID	35
Tabel 4. 3 Hasil Simulasi Sistem Kendali Fuzzy-PID Ekuivalen PSO-PID.....	36
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Sistem Kendali Fuzzy-PID Operating Range Lima Kali	38
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Sistem Kendali Fuzzy-PID Operating Range Input Sepuluh Kali	39
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Sistem Kendali Fuzzy-PID Operating Range Output 1.8 Kali	40
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Sistem Kendali Fuzzy-PID Operating Range Output Dua Kali	41
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Sistem Kendali Fuzzy-PID dengan Nilai gamma (γ) < 1	42
Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Sistem Kendali Fuzzy-PID dengan Nilai Gamma (γ) > 1	44
Tabel 4. 10 Hasil Optimasi Sistem Kendali Fuzzy-PID dengan GA.....	45
Tabel 4. 11 Nilai Parameter Operating Range dan Nonlinier Factor Hasil Optimasi GA	46
Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Sensor MPU6050	49
Tabel 4. 13 Perbandingan Respon Sistem Kendali PSO-PID dan Fuzzy-PID Optimasi GA	51
Tabel 4. 14 Perbandingan Respon Sistem Kendali PSO-PID dan Fuzzy-PID Optimasi GA dengan Gangguan Beban 25gr	52
Tabel 4. 15 Perbandingan Respon Sistem Kendali PSO-PID dan Fuzzy-PID Optimasi GA dengan Gangguan Beban 50gr	53
Tabel 4. 16 Perbandingan Respon Sistem Kendali PSO-PID dan Fuzzy-PID Optimasi GA dengan Gangguan Beban 75gr	54
Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Plant pada Gangguan Lingkungan dan Variasi Beban.....	56
Tabel 4. 18 Perbandingan Kinerja Fuzzy-PID Sebelum dan Sesudah Optimasi GA	56
Tabel 4. 19 Perbandingan Kinerja Fuzzy-PID Sebelum dan Sesudah Optimasi GA dengan Variasi Gangguan Beban	57
Tabel 4. 20 Data Pengujian Response Time Plant Sistem Kendali Fuzzy-PID.....	57



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4. 21 Data Pengujian Response Time Plant Sistem Kendali Fuzzy-PID Optimasi GA	58
Tabel 4. 22 Hasil Uji Statistik T Test pada Parameter Response Time Plant.....	58





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. 125 Fuzzy-PID Rules	64
Lampiran 2. Arduino Program	68



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Penentuan posisi sudut suatu benda dalam ruang udara sangat penting dalam menjaga kesetimbangan. Dalam beberapa kasus menjaga posisi kesetimbangan merupakan hal yang kritis sangat penting untuk diperhatikan seperti pada industri pengangkutan dengan *conveyor* [1], industri dirgantara [2], dan industri perkapalan [3]. Tujuan kesetimbangan ini diperlukan untuk menjaga posisi benda sesuai dengan yang diharapkan. Pemahaman untuk pembelajaran sistem kendali posisi sudut dapat ditingkatkan dengan menggunakan alat pembelajaran sistem *plant* kendali posisi sudut. Alat pembelajaran sistem *plant* kendali posisi sudut dapat memperdalam pengetahuan dan pemahaman tentang desain sistem kontrol, program sistem *embedded* serta menganalisa data sensor. Alat tersebut berupa *Plant* pengendali posisi sudut dengan bentuk menyerupai jungkat-jungkit dengan satu *motor brushless* dan baling - baling pada salah satu sisinya [4].

Plant pengendali posisi sudut dapat digunakan sebagai alat peraga dalam menerapkan berbagai macam metode sistem kontrol seperti *Proportional Integral Derivative (PID)*, *Fuzzy*, *Particle Swarm Optimization (PSO)*, *Genetic Algorithm (GA)* dan berbagai macam metode sistem kontrol yang lain. Pada riset [5] *Plant* pengendali posisi sudut digunakan untuk menerapkan metode *Particle Swarm Optimization (PSO-PID)*. Metode sistem kontrol PSO-PID merupakan PID konvensional dengan *tuning* nilai konstanta KP, KI, dan KD menggunakan metode optimasi PSO. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PSO dapat menyesuaikan parameter PID dengan baik, sehingga menghasilkan respon sistem yang lebih stabil dan cepat [6]. PSO-PID juga telah diterapkan pada *Plant* pengendali posisi sudut dengan dua buah *motor Brushless* [5]. Hasil penerapan PSO-PID pada *Plant* pengendali posisi sudut pada riset sebelumnya menunjukkan bahwa performa sistem kontrol PSO-PID memiliki respon yang cepat akan tetapi masih terdapat *overshoot* [5]. Performa sistem kontrol PSO-PID pada *Plant* pengendali posisi sudut masih memiliki beberapa kekurangan. Salah satu pengembangan

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

selanjutnya dari sistem kontrol PID untuk meningkatkan performa dan mempermudah proses *tuning* adalah mengganti sistem kontrol PID dengan metode FLC yang ekuivalen dengan sistem kontrol PID tersebut [7]. PID konvensional yang sudah dilakukan *tuning* yang baik dapat diganti dengan *Linear* FLC yang ekuivalen, kemudian dapat meningkatkan performa diatas kontrol PID ekuivalen dengan melakukan modifikasi pada *Fuzzy Rules* [7]. Pada penelitian [8] dilakukan metode *tuning Operating Range* FLC ekuivalen dari sistem kontrol PID pada sistem orde tiga. FLC ekuivalen dari sistem kontrol PID ini disebut sistem kontrol *Fuzzy-PID*. Hasil penelitian menunjukkan keunggulan *Fuzzy-PID* terhadap PID pada performa respon sistem kendali. Parameter *settling time* dan *overshoot* pada respon sistem kendali *Fuzzy-PID* berkurang menjadi lebih baik daripada PID konvensional [8].

Pada penelitian ini dibuat alat pembelajaran pengendali posisi sudut menggunakan satu buah motor. Alat pembelajaran sistem avionik ini telah dibuat saat mengerjakan Tugas Akhir D4 dengan menggunakan sistem kendali PSO-PID dengan hasil *rise time* 25.7 ms dan *settling time* 1960 ms serta *overshoot* 15% [9]. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya maka perlu dilakukan perbaikan response time dengan menggunakan desain kontrol *Fuzzy-PID* optimal dengan menggunakan GA. Pada riset sebelumnya alat pengendali posisi sudut dengan satu motor menggunakan kontrol Kp, Ki, dan Kd yang didapat dari hasil *tuning* menggunakan metode PSO. Desain kontrol *Fuzzy-PID* optimal akan dikembangkan ke arah model sistem kendali optimum mengacu ke penelitian [10]. Desain kontrol *Fuzzy-PID* mengacu ke model yang sudah dikembangkan pada penelitian [7]. Konsep sistem kendali *Fuzzy-PID* [7] menerapkan *mapping* sebuah *error* kontrol PID ke dalam *Operating Range* dari *input* dan *output* *Fuzzy*. Hasil penelitian [7] menunjukkan sebuah kepresisian hasil konversi antara *gain* parameter PID ke dalam bentuk *Operating Range* dari *input* dan *output* *Fuzzy*. Kontrol *Fuzzy-PID* yang dikembangkan oleh [7] merupakan sistem *Fuzzy* hasil konversi PID. Metode *tuning* yang digunakan pada sistem kendali ini berbasiskan kepada pengaturan *Operating Range* dan bentuk *Membership Function*. Pada pengembangan penelitian [10] menambahkan sebuah konsep desain kontrol optimum dengan menggunakan *Genetic Algorithm (GA)*. Hasil penelitian [10] yang dikembangkannya menunjukkan performa dan keunggulan kontrol *Fuzzy-PID* dibandingkan dengan model kendali PID dan kendali

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Fuzzy lainnya.

Berdasarkan tinjauan referensi [4], [5], [7], [8], [10] diatas maka penelitian ini akan menerapkan desain kontrol *Fuzzy-PID* pada sistem model *plant* pengendali posisi sudut. *Plant* pengendali posisi sudut merupakan *plant* berorde empat. Hasil konversi *Fuzzy-PID* dari *plant* pengendali posisi sudut ini akan dikembangkan ke model desain kontrol optimal menggunakan GA. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan performa *response time* yang lebih baik dari sistem *plant* pengendali posisi sudut hasil *tuning* PSO-PID. Pada pengujian *plant* ini akan diberikan berbagai gangguan dengan cara memvariasikan beban pada salah satu sisi lengan. Hasil penyesuaian posisi sudut akibat dari variasi beban akan dianalisa. Sementara untuk mengukur performa sistem didasarkan pada *response time* ketika sistem melakukan penyesuaian posisi sudut.

I.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana membuat pemodelan matematika *Plant* pengendali posisi sudut ?
2. Bagaimana melakukan *tuning* PSO-PID pada *Plant* pengendali posisi sudut ?
3. Bagaimana memperbaiki *response time* dengan menggunakan *Fuzzy PID* hasil konversi kendali PSO-PID ?
4. Bagaimana mendesain optimal *Fuzzy-PID Controller* menggunakan *Genetic Algorithm* pada *Plant* pengendali posisi sudut ?

I.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah membuat desain optimal *Fuzzy-PID Controller* menggunakan GA untuk memperbaiki performa *response time* yang dihasilkan dari sistem *Plant* pengendali posisi sudut hasil *tuning* PSO-PID.

I.4. Batasan Penelitian

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Kalkulasi *tuning Fuzzy – PID* dilakukan secara *offline*.
2. Hasil perancangan metode *tuning Fuzzy – PID* dilakukan secara simulasi pada *software* Simulink Matlab.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3. Perancangan mekanik *Plant* pengendali posisi sudut menggunakan alat yang menyerupai jungkat – jungkit dengan satu *motor brushless* pada salah satu sisinya.

I.5. Manfaat Penelitian

Manfaat masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Alat peraga sistem kontrol avionik dalam penerapan beberapa model sistem kontrol.
2. Menghasilkan desain optimal *Fuzzy-PID Controller* menggunakan *Genetic Algorithm* pada *Plant* pengendali posisi sudut.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

V.I. Simpulan

Pengembangan sistem kendali *Fuzzy-PID* dengan algoritma optimasi GA pada plant pengendali posisi sudut telah berhasil. Sistem kendali *Fuzzy-PID* dengan optimasi GA menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam mengendalikan sistem orde tinggi pada plant pengendali sudut. Hasil simulasi pada Matlab menunjukkan sistem kendali Fuzzy-PID dengan optimasi GA dapat menghilangkan *overshoot* menjadi 0% dan *settling time* sistem 54,3% lebih cepat daripada sistem kendali PSO-PID. Hasil implementasi sistem kendali Fuzzy-PID pada plant pengendali posisi sudut menunjukkan *overshoot* hanya sebesar 0.46%, *settling time* 3.02 detik, dan *error steady state* 0.04% lebih baik dibanding sistem kendali PSO-PID dengan *overshoot* 16.94%, *settling time* 4.71 detik dan *error steady state* 0.35%. Hasil pengujian implementasi sistem kendali *Fuzzy-PID* pada plant pengendali posisi sudut dengan gangguan beban 25gr, 50gr, dan 75gr menunjukkan waktu *recovery output plant* menuju nilai *setpoint* lebih cepat daripada sistem kendali PSO-PID. Waktu *recovery* sistem kendali Fuzzy-PID optimasi GA lebih cepat 24% pada gangguan beban 25gr, 18% pada gangguan 50gr, dan 27% pada gangguan 75gr. Hasil *response time* sistem kendali *Fuzzy-PID* dengan optimasi GA pada plant pengendali posisi sudut lebih unggul daripada metode PSO-PID pada penelitian sebelumnya.

V.II. Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, terdapat beberapa saran untuk pengembangan dan penelitian lebih lanjut. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan untuk melakukan efisiensi terhadap optimasi dengan GA dan efisiensi pada proses konversi PID ke *Fuzzy-PID* agar peralatan komputasi bisa lebih ringan dan waktu proses komputasi lebih cepat.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Rusli, F. Habib, and M. Halim Asiri, "Pengaruh Perubahan Sudut Kemiringan (Inklansi) Terhadap Kapasitas Angkut Material pada Peralatan Conveyor (incline Screen Conveyor)," *J-Move. Jurnal Teknik MESin FT-UMI*, vol. 4, no. No. 1, Apr. 2022.
- [2] K. P. Bappenas, "Peta Jalan Ekosistem Industri Kedirgantaraan Indonesia 2022-2045," Jakarta, Nov. 2022.
- [3] I. Munadhif, M. Syaiin, and J. Endrasmono, "Penentuan Metode Kendali yang Optimal untuk Kestabilan Rolling Kapal Perang Indonesia," *PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika*, vol. 5, pp. 767–772, 2019, [Online]. Available: <https://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/prisma/>
- [4] L. M. Morales-Narciso *et al.*, "Design, Construction and Control of a Seesaw System Driven with a Thrust Propeller," in *Proceedings of the 25th Robotics Mexican Congress, COMRob 2023*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Nov. 2023, pp. 122–127. doi: 10.1109/COMRob60035.2023.10349707.
- [5] I. Cukdar, T. Yigit, and H. Celik, "BLDC Motor Driven, PSO Optimized 2-DOF PID Control of the Seesaw Balance System," *13th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, p. 114, Nov. 2021, doi: 10.23919/ELECO54474.2021.9677870.
- [6] M. Ruswandi Djalal and R. Rahmat, "Optimisasi Kontrol PID untuk Motor DC Magnet Permanen Menggunakan Particle Swarm Optimization," *Technology Acceptance Model*, vol. 8, pp. 117–122, Dec. 2017.
- [7] C. T. Chao, N. Sutarna, J. S. Chiou, and C. J. Wang, "Equivalence Between Fuzzy PID Controllers and Conventional PID Controllers," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 7, no. 6, Jun. 2017, doi: 10.3390/app7060513.
- [8] N. Sutarna, D. B. Siti, and R. Purwanti, "Metode Tuning Operating Range Fuzzy PID Controller pada Sistem Orde Tiga," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 12, pp. 33–39, Jun. 2020.
- [9] M. D. Dwi Setyawan, Alrijadjis, and N. Tamami, "Perancangan dan Implementasi Kontrol PSO-PID untuk Pengendali Posisi Sudut pada Miniatur Jungkat-Jungkit," Surabaya, Aug. 2018.
- [10] C. T. Chao, N. Sutarna, J. S. Chiou, and C. J. Wang, "An Optimal Fuzzy PID Controller Design based on Conventional PID Control and Nonlinear Factors," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 9, no. 6, Mar. 2019, doi: 10.3390/app9061224.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [11] A. Tenriawaru, R. A. Saputra, and M. Yusril, "Sistem Kendali Lampu Otomatis Multisensor Menggunakan Metode Fuzzy Logic Control Inferensi Sugeno Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal Eksplora Informatika*, vol. 13, no. 1, pp. 12–23, Sep. 2023, doi: 10.30864/eksplora.v13i1.812.
- [12] M. I. Atha'illah and R. Pradana, "Penerapan Metode Fuzzy Logic Sugeno pada Prototipe Sistem Kendali Pengereman dengan Menggunakan Arduino," *Seminar Nasional Mahasiswa Fakultas Teknologi Informasi (SENAFTI) Jakarta-Indonesia*, pp. 759–767, Sep. 2022, [Online]. Available: <https://senafiti.budiluhur.ac.id/index.php/senafiti/index>
- [13] M. D. Udin, I. Istiadi, and F. Rofii, "Aquascape dengan Kontrol Fotosintesis Buatan pada Tanaman Air Menggunakan Metode Kendali Logika Fuzzy," *Transmisi : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 23, no. 3, pp. 103–111, Jul. 2021, doi: 10.14710/transmisi.23.3.103-111.
- [14] M. Fajar Kesuma and Z. S. T. Mirza, "Perbandingan Sistem Kendali PID dan Fuzzy Logic Pada Quadcopter," 2021. [Online]. Available: <https://raharja.ac.id/2020/04/06/logika-fuzzy/>.
- [15] A. Imran Lubis, S. Saniman, and M. Yetri, "Sistem Kendali Lampu Ruangan Menggunakan Metode Fuzzy Logic dan Android Berbasis Mikrokontroler," *JURNAL SISTEM KOMPUTER TGD*, vol. 1, no. 1, pp. 01–09, Jan. 2022, [Online]. Available: <https://ojs.trigunadharma.ac.id/index.php/jskom>
- [16] M. Aulia, K. Kurniawati, P. A. Topan, T. Andriani, and D. Maulidyawati, "Implementasi Sistem Kendali Proporsional Integral Derivatif (PID) pada Porototype Pendeteksi Brightness Cahaya Ruangan," *Jurnal Bumigora Information Technology (BITE)*, vol. 4, no. 2, pp. 217–230, Dec. 2022, doi: 10.30812/bite.v4i2.2129.
- [17] S. Syahputra, H. Santosa, and F. Hadi, "Perancangan Sistem Pengontrolan Water Treatment Menggunakan Kontrol PID," *Jurnal Amplifier Mei*, vol. 9, no. 1, May 2019.
- [18] A. P. Cahyaningtyas, E. / Bambang, S. / Puput, and W. Rusimamto, "Perbandingan Antara Kendali PID dengan Fuzzy pada Pengendalian PH Larutan Nutrisi Sistem Hidroponik Metode NFT (Nutrient Film Technique)," vol. 09, pp. 791–801, 2020, [Online]. Available: <http://hidroponikpedia.com/inilah-kelebihan->
- [19] H. Maghfiroh, M. Ahmad, A. Ramelan, and F. Adriyanto, "Fuzzy-PID in BLDC Motor Speed Control Using MATLAB/Simulink," *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 3, no. 1, pp. 8–13, Jan. 2022, doi: 10.18196/jrc.v3i1.10964.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [20] B. Subarta, H. Eteruddin, and D. Setiawan, "Analisis Perbandingan Sistem Kendali PID dan Sistem Kendali Fuzzy PID pada Pengontrolan Kecepatan Motor DC," *TELKA*, vol. 10, no. 2, pp. 178–192, Jul. 2024.
- [21] A. Setiawan, M. Syariffuddien Zuhrie, I. Gusti Putu Asto Buditjahjanto, and L. Anifah, "Desain Sistem Kontrol Ketinggian Air Bendungan Menggunakan Metode Optimasi Genetic Algorithm," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 10, pp. 517–525, 2021.
- [22] L. Erik Prasetyo, I. Istiadi, and F. Marisa, "Sistem Optimasi Pendistribusian Bahan Makanan dan Snack dengan Algoritma Ant Colony Optimization (ACO)," *AITI: Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 18, pp. 88–96, Feb. 2021.
- [23] N. Gageik, A. Redah, and S. Montenegro, *Avionic Control Systems for Education and Development*. Wurzburg: IATED, 2012.
- [24] I. Anshory, D. Hadidjaja, and I. Sulistiyowati, "Monitoring Perubahan Tegangan dan Pemodelan Matematika Fungsi Transfer Motor BLDC Dengan System Identification Toolbox," Surabaya, Mar. 2021.
- [25] S. Gulgonul, "IAE Optimized PID Tuning with Phase Margin and Crossover Frequency Constraints," 2025. doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2506.00923>.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 1. 125 Fuzzy-PID Rules

125 Rules pada Fuzzy-PID Hasil Konversi PSO-PID

1. If (input1 is 1) and (input2 is 1) and (input3 is 1) then (output1 is 1)
2. If (input1 is 1) and (input2 is 1) and (input3 is 2) then (output1 is 2)
3. If (input1 is 1) and (input2 is 1) and (input3 is 3) then (output1 is 3)
4. If (input1 is 1) and (input2 is 1) and (input3 is 4) then (output1 is 4)
5. If (input1 is 1) and (input2 is 1) and (input3 is 5) then (output1 is 5)
6. If (input1 is 2) and (input2 is 1) and (input3 is 1) then (output1 is 2)
7. If (input1 is 2) and (input2 is 1) and (input3 is 2) then (output1 is 3)
8. If (input1 is 2) and (input2 is 1) and (input3 is 3) then (output1 is 4)
9. If (input1 is 2) and (input2 is 1) and (input3 is 4) then (output1 is 5)
10. If (input1 is 2) and (input2 is 1) and (input3 is 5) then (output1 is 6)
11. If (input1 is 3) and (input2 is 1) and (input3 is 1) then (output1 is 3)
12. If (input1 is 3) and (input2 is 1) and (input3 is 2) then (output1 is 4)
13. If (input1 is 3) and (input2 is 1) and (input3 is 3) then (output1 is 5)
14. If (input1 is 3) and (input2 is 1) and (input3 is 4) then (output1 is 6)
15. If (input1 is 3) and (input2 is 1) and (input3 is 5) then (output1 is 7)
16. If (input1 is 4) and (input2 is 1) and (input3 is 1) then (output1 is 4)
17. If (input1 is 4) and (input2 is 1) and (input3 is 2) then (output1 is 5)
18. If (input1 is 4) and (input2 is 1) and (input3 is 3) then (output1 is 6)
19. If (input1 is 4) and (input2 is 1) and (input3 is 4) then (output1 is 7)
20. If (input1 is 4) and (input2 is 1) and (input3 is 5) then (output1 is 8)
21. If (input1 is 5) and (input2 is 1) and (input3 is 1) then (output1 is 5)
22. If (input1 is 5) and (input2 is 1) and (input3 is 2) then (output1 is 6)
23. If (input1 is 5) and (input2 is 1) and (input3 is 3) then (output1 is 7)
24. If (input1 is 5) and (input2 is 1) and (input3 is 4) then (output1 is 8)
25. If (input1 is 5) and (input2 is 1) and (input3 is 5) then (output1 is 9)
26. If (input1 is 1) and (input2 is 2) and (input3 is 1) then (output1 is 2)
27. If (input1 is 1) and (input2 is 2) and (input3 is 2) then (output1 is 3)
28. If (input1 is 1) and (input2 is 2) and (input3 is 3) then (output1 is 4)
29. If (input1 is 1) and (input2 is 2) and (input3 is 4) then (output1 is 5)
30. If (input1 is 1) and (input2 is 2) and (input3 is 5) then (output1 is 6)
31. If (input1 is 2) and (input2 is 2) and (input3 is 1) then (output1 is 3)
32. If (input1 is 2) and (input2 is 2) and (input3 is 2) then (output1 is 4)
33. If (input1 is 2) and (input2 is 2) and (input3 is 3) then (output1 is 5)
34. If (input1 is 2) and (input2 is 2) and (input3 is 4) then (output1 is 6)
35. If (input1 is 2) and (input2 is 2) and (input3 is 5) then (output1 is 7)
36. If (input1 is 3) and (input2 is 2) and (input3 is 1) then (output1 is 4)
37. If (input1 is 3) and (input2 is 2) and (input3 is 2) then (output1 is 5)
38. If (input1 is 3) and (input2 is 2) and (input3 is 3) then (output1 is 6)

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

39. If (input1 is 3) and (input2 is 2) and (input3 is 4) then (output1 is 7)
40. If (input1 is 3) and (input2 is 2) and (input3 is 5) then (output1 is 8)
41. If (input1 is 4) and (input2 is 2) and (input3 is 1) then (output1 is 5)
42. If (input1 is 4) and (input2 is 2) and (input3 is 2) then (output1 is 6)
43. If (input1 is 4) and (input2 is 2) and (input3 is 3) then (output1 is 7)
44. If (input1 is 4) and (input2 is 2) and (input3 is 4) then (output1 is 8)
45. If (input1 is 4) and (input2 is 2) and (input3 is 5) then (output1 is 9)
46. If (input1 is 5) and (input2 is 2) and (input3 is 1) then (output1 is 6)
47. If (input1 is 5) and (input2 is 2) and (input3 is 2) then (output1 is 7)
48. If (input1 is 5) and (input2 is 2) and (input3 is 3) then (output1 is 8)
49. If (input1 is 5) and (input2 is 2) and (input3 is 4) then (output1 is 9)
50. If (input1 is 5) and (input2 is 2) and (input3 is 5) then (output1 is 10)
51. If (input1 is 1) and (input2 is 3) and (input3 is 1) then (output1 is 3)
52. If (input1 is 1) and (input2 is 3) and (input3 is 2) then (output1 is 4)
53. If (input1 is 1) and (input2 is 3) and (input3 is 3) then (output1 is 5)
54. If (input1 is 1) and (input2 is 3) and (input3 is 4) then (output1 is 6)
55. If (input1 is 1) and (input2 is 3) and (input3 is 5) then (output1 is 7)
56. If (input1 is 2) and (input2 is 3) and (input3 is 1) then (output1 is 4)
57. If (input1 is 2) and (input2 is 3) and (input3 is 2) then (output1 is 5)
58. If (input1 is 2) and (input2 is 3) and (input3 is 3) then (output1 is 6)
59. If (input1 is 2) and (input2 is 3) and (input3 is 4) then (output1 is 7)
60. If (input1 is 2) and (input2 is 3) and (input3 is 5) then (output1 is 8)
61. If (input1 is 3) and (input2 is 3) and (input3 is 1) then (output1 is 5)
62. If (input1 is 3) and (input2 is 3) and (input3 is 2) then (output1 is 6)
63. If (input1 is 3) and (input2 is 3) and (input3 is 3) then (output1 is 7)
64. If (input1 is 3) and (input2 is 3) and (input3 is 4) then (output1 is 8)
65. If (input1 is 3) and (input2 is 3) and (input3 is 5) then (output1 is 9)
66. If (input1 is 4) and (input2 is 3) and (input3 is 1) then (output1 is 6)
67. If (input1 is 4) and (input2 is 3) and (input3 is 2) then (output1 is 7)
68. If (input1 is 4) and (input2 is 3) and (input3 is 3) then (output1 is 8)
69. If (input1 is 4) and (input2 is 3) and (input3 is 4) then (output1 is 9)
70. If (input1 is 4) and (input2 is 3) and (input3 is 5) then (output1 is 10)
71. If (input1 is 5) and (input2 is 3) and (input3 is 1) then (output1 is 7)
72. If (input1 is 5) and (input2 is 3) and (input3 is 2) then (output1 is 8)
73. If (input1 is 5) and (input2 is 3) and (input3 is 3) then (output1 is 9)
74. If (input1 is 5) and (input2 is 3) and (input3 is 4) then (output1 is 10)
75. If (input1 is 5) and (input2 is 3) and (input3 is 5) then (output1 is 11)
76. If (input1 is 1) and (input2 is 4) and (input3 is 1) then (output1 is 4)
77. If (input1 is 1) and (input2 is 4) and (input3 is 2) then (output1 is 5)
78. If (input1 is 1) and (input2 is 4) and (input3 is 3) then (output1 is 6)
79. If (input1 is 1) and (input2 is 4) and (input3 is 4) then (output1 is 7)

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

80. If (input1 is 1) and (input2 is 4) and (input3 is 5) then (output1 is 8)
81. If (input1 is 2) and (input2 is 4) and (input3 is 1) then (output1 is 5)
82. If (input1 is 2) and (input2 is 4) and (input3 is 2) then (output1 is 6)
83. If (input1 is 2) and (input2 is 4) and (input3 is 3) then (output1 is 7)
84. If (input1 is 2) and (input2 is 4) and (input3 is 4) then (output1 is 8)
85. If (input1 is 2) and (input2 is 4) and (input3 is 5) then (output1 is 9)
86. If (input1 is 3) and (input2 is 4) and (input3 is 1) then (output1 is 6)
87. If (input1 is 3) and (input2 is 4) and (input3 is 2) then (output1 is 7)
88. If (input1 is 3) and (input2 is 4) and (input3 is 3) then (output1 is 8)
89. If (input1 is 3) and (input2 is 4) and (input3 is 4) then (output1 is 9)
90. If (input1 is 3) and (input2 is 4) and (input3 is 5) then (output1 is 10)
91. If (input1 is 4) and (input2 is 4) and (input3 is 1) then (output1 is 7)
92. If (input1 is 4) and (input2 is 4) and (input3 is 2) then (output1 is 8)
93. If (input1 is 4) and (input2 is 4) and (input3 is 3) then (output1 is 9)
94. If (input1 is 4) and (input2 is 4) and (input3 is 4) then (output1 is 10)
95. If (input1 is 4) and (input2 is 4) and (input3 is 5) then (output1 is 11)
96. If (input1 is 5) and (input2 is 4) and (input3 is 1) then (output1 is 8)
97. If (input1 is 5) and (input2 is 4) and (input3 is 2) then (Output1 is 9)
98. If (input1 is 5) and (input2 is 4) and (input3 is 3) then (output1 is 10)
99. If (input1 is 5) and (input2 is 4) and (input3 is 4) then (output1 is 11)
100. If (input1 is 5) and (input2 is 4) and (input3 is 5) then (output1 is 12)
101. If (input1 is 1) and (input2 is 5) and (input3 is 1) then (output1 is 5)
102. If (input1 is 1) and (input2 is 5) and (input3 is 2) then (output1 is 6)
103. If (input1 is 1) and (input2 is 5) and (input3 is 3) then (output1 is 7)
104. If (input1 is 1) and (input2 is 5) and (input3 is 4) then (output1 is 8)
105. If (input1 is 1) and (input2 is 5) and (input3 is 5) then (output1 is 9)
106. If (input1 is 2) and (input2 is 5) and (input3 is 1) then (output1 is 6)
107. If (input1 is 2) and (input2 is 5) and (input3 is 2) then (output1 is 7)
108. If (input1 is 2) and (input2 is 5) and (input3 is 3) then (output1 is 8)
109. If (input1 is 2) and (input2 is 5) and (input3 is 4) then (output1 is 9)
110. If (input1 is 2) and (input2 is 5) and (input3 is 5) then (output1 is 10)
111. If (input1 is 3) and (input2 is 5) and (input3 is 1) then (output1 is 7)
112. If (input1 is 3) and (input2 is 5) and (input3 is 2) then (output1 is 8)
113. If (input1 is 3) and (input2 is 5) and (input3 is 3) then (output1 is 9)
114. If (input1 is 3) and (input2 is 5) and (input3 is 4) then (output1 is 10)
115. If (input1 is 3) and (input2 is 5) and (input3 is 5) then (output1 is 11)
116. If (input1 is 4) and (input2 is 5) and (input3 is 1) then (output1 is 8)
117. If (input1 is 4) and (input2 is 5) and (input3 is 2) then (output1 is 9)
118. If (input1 is 4) and (input2 is 5) and (input3 is 3) then (output1 is 10)
119. If (input1 is 4) and (input2 is 5) and (input3 is 4) then (output1 is 11)
120. If (input1 is 4) and (input2 is 5) and (input3 is 5) then (output1 is 12)



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

121. If (input1 is 5) and (input2 is 5) and (input3 is 1) then (output1 is 9)
122. If (input1 is 5) and (input2 is 5) and (input3 is 2) then (output1 is 10)
123. If (input1 is 5) and (input2 is 5) and (input3 is 3) then (output1 is 11)
124. If (input1 is 5) and (input2 is 5) and (input3 is 4) then (output1 is 12)
125. If (input1 is 5) and (input2 is 5) and (input3 is 5) then (output1 is 13)



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 2. Arduino Program

Program Arduino

//===== LIBRARY =====

#include <Wire.h>

#include "MPU6050_6Axis_MotionApps20.h"

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#include <Servo.h>

#include <Fuzzy.h>

//===== OBJEK =====

MPU6050 mpu;

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);

Servo right_prop, left_prop;

Fuzzy *fuzzy = new Fuzzy();

//===== KONFIGURASI MPU =====

#define INTERRUPT_PIN 2

volatile bool mpuInterrupt = false;

uint16_t packetSize;

uint8_t fifoBuffer[64];

//===== VARIABEL MPU =====

Quaternion q;

VectorFloat gravity;

float ypr[3];

bool dmpReady = false;

uint16_t fifoCount;

uint8_t mpuIntStatus;

//===== VARIABEL KENDALI =====

float desired_angle = 90;



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
float sudut, sudutt;

float error, previous_error = 0, Ii = 0, Dd = 0;

float elapsedTime, ttime, timePrev;

float basePWM = 1500;

float pwmLeft, pwmRight;

// Operating range hasil GA
const float ae_OR = 27;
const float ai_OR = 36.9;
const float ad_OR = 49.2;
const float au_OR = 214;

// Nonlinear factor gamma hasil GA
const float gamma_e = 1;
const float gamma_i = 1;
const float gamma_d = 1;
const float gamma_u = 1;

//===== FUZZY SET =====
FuzzySet *aeSets[5], *aiSets[5], *adSets[5], *auMF[13];

//===== INTERRUPT =====

void dmpDataReady() {
    mpuInterrupt = true;
}

//===== SETUP =====

void setup() {
    Serial.begin(115200);

    Wire.begin();

    Wire.setClock(400000);

    mpu.initialize();
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
pinMode(INTERRUPT_PIN, INPUT);

devStatusCheck();

lcd.init();

lcd.backlight();

lcd.clear();

lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("Fuzzy-PID Controller");

delay(2000);

lcd.clear();

left_prop.attach(5);
right_prop.attach(3);
left_prop.writeMicroseconds(1000);
right_prop.writeMicroseconds(1000);

delay(3000);

setupFuzzy();
setupRules();

ttime = millis();
}

//===== DEV STATUS MPU =====

void devStatusCheck() {
    uint8_t devStatus = mpu.dmpInitialize();

    mpu.setXGyroOffset(94);
    mpu.setYGyroOffset(-52);
    mpu.setZGyroOffset(-58);
    mpu.setXAccelOffset(271);
    mpu.setYAccelOffset(280);
    mpu.setZAccelOffset(1661);

    if (devStatus == 0) {
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
mpu.setDMPEnabled(true);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(INTERRUPT_PIN), dmpDataReady, RISING);
packetSize = mpu.dmpGetFIFOPageSize();
dmpReady = true;
} else {
  Serial.print("DMP Init failed: "); Serial.println(devStatus);
  while (1);
}
}
//===================================================== LOOP =====
void loop() {
  timePrev = ttime;
  ttime = millis();
  elapsedTime = (ttime - timePrev) / 1000.0;
  if (!dmpReady) return;
  if (!mpuInterrupt && fifoCount < packetSize) return;
  mpuInterrupt = false;
  mpuIntStatus = mpu.getIntStatus();
  fifoCount = mpu.getFIFOCount();
  if ((mpuIntStatus & 0x10) || fifoCount == 1024) {
    mpu.resetFIFO();
    return;
  }
  if (mpuIntStatus & 0x02) {
    while (fifoCount < packetSize) fifoCount = mpu.getFIFOCount();
    mpu.getFIFOBytes(fifoBuffer, packetSize);
    fifoCount -= packetSize;
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
mpu.dmpGetQuaternion(&q, fifoBuffer);
mpu.dmpGetGravity(&gravity, &q);
mpu.dmpGetYawPitchRoll(ypr, &q, &gravity);

sudut = ypr[2] * 180 / M_PI;
sudutt = sudut + 110;
fuzzyControl();
displayLCD();
}
}

//===================================================== FUZZY CONTROL =====
void fuzzyControl() {
    error = desired_angle - sudutt;
    Ii += (error + previous_error) / 2 * elapsedTime;
    Dd = (error - previous_error) / elapsedTime;
    fuzzy->setInput(1, constrain(error / ae_OR, -1, 1));
    fuzzy->setInput(2, constrain(Ii / ai_OR, -1, 1));
    fuzzy->setInput(3, constrain(Dd / ad_OR, -1, 1));
    fuzzy->fuzzify();
    float auValue = fuzzy->defuzzify(1);
    float mapped_au = (auValue / au_OR) * 500; // lebih presisi: au_OR → 500us range
    mapped_au = constrain(mapped_au, -500, 500);
    pwmLeft = constrain(basePWM - mapped_au, 1250, 1750);
    pwmRight = constrain(basePWM + mapped_au, 1250, 1750);
    left_prop.writeMicroseconds(pwmLeft);
    right_prop.writeMicroseconds(pwmRight);
    previous_error = error;
}
```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
//===== LCD DISPLAY =====

void displayLCD() {

    lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("Sudut:");

    lcd.setCursor(7, 0); lcd.print(sudutt, 1);

    lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("L:"); lcd.print(pwmLeft);

    lcd.setCursor(10, 1); lcd.print("R:"); lcd.print(pwmRight);

}

//===== FUZZY SETUP =====

void setupFuzzy() {

    FuzzyInput *ae = new FuzzyInput(1);
    FuzzyInput *ai = new FuzzyInput(2);
    FuzzyInput *ad = new FuzzyInput(3);
    FuzzyOutput *au = new FuzzyOutput(1);

    // Buat MF input dengan distribusi nonlinear  $\gamma$ 
    setupMF(ae, aeSets, gamma_e);
    setupMF(ai, aiSets, gamma_i);
    setupMF(ad, adSets, gamma_d);

    // Output MF sebagai singleton
    for (int i = 0; i < 13; i++) {
        float center = (i - 6) * gamma_u * (au_OR / 6.0);
        auMF[i] = new FuzzySet(center, center, center, center);
        au->addFuzzySet(auMF[i]);
    }

    fuzzy->addFuzzyInput(ae);
    fuzzy->addFuzzyInput(ai);
    fuzzy->addFuzzyInput(ad);
    fuzzy->addFuzzyOutput(au);
}
```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

}

//===================================================== BUAT MF DENGAN GAMMA =====
void setupMF(FuzzyInput *input, FuzzySet **sets, float gamma) {

    float center[5];

    center[2] = 0;

    float step = 1.0;

    center[3] = center[2] + step;
    center[4] = center[3] + (center[3] - center[2]) * gamma;
    center[1] = center[2] - step;
    center[0] = center[1] - (center[2] - center[1]) * gamma;
    for (int i = 0; i < 5; i++) {
        sets[i] = new FuzzySet(center[i] - 0.5, center[i] - 0.25, center[i] + 0.25, center[i] + 0.5);
        input->addFuzzySet(sets[i]);
    }
}

//===================================================== FUZZY RULES =====
void setupRules() {
    int ruleIndex = 1;
    for (int i = 0; i < 5; i++) {
        for (int j = 0; j < 5; j++) {
            for (int k = 0; k < 5; k++) {
                int outputIdx = constrain(i + j + k, 0, 12);

                FuzzyRuleAntecedent *ant1 = new FuzzyRuleAntecedent();
                FuzzyRuleAntecedent *ant2 = new FuzzyRuleAntecedent();
                ant1->joinWithAND(aeSets[i], aiSets[j]);
                ant2->joinWithAND(ant1, adSets[k]);

                FuzzyRuleConsequent *cons = new FuzzyRuleConsequent();
            }
        }
    }
}

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
cons->addOutput(auMF[outputIdx]);
```

```
fuzzy->addFuzzyRule(new FuzzyRule(ruleIndex++, ant2, cons));
```

