



# PERANCANGAN KENDALI *FUZZY* SUGENO-PD UNTUK PENGENDALIAN SUDUT SUMBU ELEVASI PADA *TURRET GUN*

## TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada  
Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi



Oleh:

**BOBBY RESKY ANGGRIAWAN**  
**11355105312**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU  
PEKANBARU**

**2021**

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

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

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

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PERANCANGAN KENDALI FUZZY SUGENO-PD UNTUK PENGENDALIAN SUDUT  
SUMBU ELEVASI PADA TURRET GUN**

**TUGAS AKHIR**

Oleh :

**BOBBY RESKY ANGGRIAWAN**

**11355105312**

Telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro  
di Pekanbaru, pada tanggal 16 Februari 2021

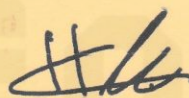
**Ketua Program Studi**



**Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom.**

**NIP. 19750922 200912 2 002**

**Pembimbing**



**Halim Mudia, ST., MT.**

**NIP. 130 517 053**



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PERANCANGAN KENDALI FUZZY SUGENO-PD UNTUK PENGENDALIAN SUDUT SUMBU ELEVASI PADA TURRET GUN**

**TUGAS AKHIR**

Oleh :

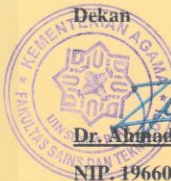
**BOBBY RESKY ANGGRIAWAN**


**11355105312**

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau di Pekanbaru, pada tanggal 16 februari 2021

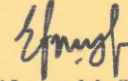
Pekanbaru, 16 februari 2021

Mengesahkan,



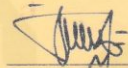



Dekan  
  
**Dr. Ahmad Darmawi, M. Ag**  
 NIP. 19660604 199203 1 004

Ketua Program Studi

  
**Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom.**  
 NIP. 19750922 200912 2 002

**DEWAN PENGUJI :**

Ketua : Mulyono ST., MT  
 Sekretaris : Halim Mudia, ST., MT.  
 Anggota I : Jufrizel, ST., MT.  
 Anggota II : Aulia Ullah, M.Eng



## LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau adalah terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

### Hak Cipta dan Pinjam

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



## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan dalam daftar pustaka.

Saya bersedia menerima sanksi jika pernyataan ini tidak sesuai dengan yang sebenarnya.

Pekanbaru, 2021

Yang membuat pernyataan,

**BOBBY RESKY ANGGRIAWAN**

**11355105312**

UIN SUSKA RIAU

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



## HALAMAN PERSEMBAHAN

**Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang**

Barang siapa Yang menghendaki kehidupan dunia, maka wajib baginya berilmu, dan barang siapa yang menghendaki kehidupan akhirat, maka wajib baginya berilmu, dan barang siapa yang menghendaki keduanya, maka wajib baginya berilmu.  
(HR.Tirmidzi)

*Terima Kasih Ya Allah ...*

*Sembah sujud serta syukurku kepada-Mu ya Allah, zat yang Maha Pengasih namun tak pernah pilih kasih dan Maha Penyayang yang kasih sayang-Nya tak terbilang. Engkau zat yang Maha membolak-balikkan hati, teguhkanlah hati ini di atas agama-Mu ya Allah. Lantunan sholawat beriring salam penggugah hati dan jiwa, menjadi persembahan penuh kerinduan pada sosok panutan umat, pembangun peradaban manusia yang beradab Nabi Besar Muhammad SAW.*

Niscaya Allah akan mengangkat (derajat) orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat.  
(QS : Al-Mujadilah 11)

*Ku persembahkan karya ini untuk ibunda tercinta, sosok pejuang dalam hidupku yang tak pernah mengenal kata lelah apalagi mengeluh serta Ibunda tersayang, malaikat tanpa sayap dalam hidupku yang tak kenal waktu siang dan malam selalu menjaga dan melindungi hingga aku bisa sampai seperti sekarang ini, Adik tercinta, seluruh keluarga serta sahabat dan seluruh keluarga besar teknik elektro UIN SUSKA RIAU yang doanya senantiasa mengiringi setiap derap langkahku dalam meniti kesuksesan.*

Dan katakanlah:”Ya Tuhan-ku, masukkan aku ketempat masuk yang benar dan keluarkanlah (pula) aku ketempat keluar yang benar dan berilah aku disisi-Mu kekuasaan yang dapat menolongku.”  
(QS: Al-Isra 80)

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



# PERANCANGAN KENDALI FUZZY SUGENO-PD UNTUK PENGENDALIAN SUDUT SUMBU ELEVASI PADA TURRET GUN

**BOBBY RESKY ANGGRIAWAN**

**NIM : 11355105312**

Tanggal sidang : 25 Januari 2021

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

## ABSTRAK

Pertahanan pada suatu negara merupakan segala bentuk usaha dalam mempertahankan kedaulatan negara. Oleh karena itu di negara-negara besar saling berusaha mengembangkan senjata sebagai pertahanan dengan mengutamakan penerapan teknologi maju. Salah satu teknologi senjata yang mengalami perkembangan di negara Indonesia adalah *Turret-Gun*. *Turret-Gun* adalah sistem senjata laras panjang yang dapat dioperasikan secara manual atau otomatis dengan menggunakan *remote control*. Permasalahan utama yang akan difokuskan pada penelitian ini adalah pengendalian gerak sumbu elevasi *Turret-Gun*, dimana ukuran peluru merupakan faktor yang mempengaruhi dimensi dan inersia laras panjang, karena inersia yang besar membuat sistem sulit bergerak dengan akurat dan presisi. Sehingga diperlukan suatu kontroler yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah tersebut Pada penelitian ini, desain kontroler *Fuzzy Sugeno* dipadukan dengan kontroler PD untuk mengontrol sudut elevasi *Turret-Gun* kaliber 20 milimeter. Kontroler *Fuzzy* ini dirancang untuk menjaga performansi sistem yang dikombinasikan dengan kontroler PD agar berguna untuk mempercepat waktu respon dalam mencapai *set point* dan *error* yang mendekati nol. Berdasarkan hasil simulasi yang dianalisis, diperoleh kombinasi pengontrol *Fuzzy Sugeno* dengan *fuzzifikasi* dan pengolahan PD saat nilai  $K_p = 900$  dan  $K_d = 150$  menggunakan metode *heuristik*, berhasil membuat sumbu elevasi *Turret-Gun* mencapai *set point* yang diinginkan serta mampu mempertahankan dan mengoreksi sudut sumbu elevasi *Turret-Gun* kaliber 20 milimeter. hal ini bisa dibuktikan dengan tidak adanya *overshoot* dan *error*  $0^\circ$ .

**Kata Kunci : TURRET GUN, FUZZY, PD.**



## **FUZZY SUGENO-PD CONTROL DESIGN FOR CONTROL OF ELEVATION AXIS ANGEL IN TURRET GUN**

**BOBBY RESKY ANGGRIAWAN**

**NIM: 11355105312**

Trial date: 25 January 2021

Electrical engineering major

Faculty of Science and Technology

Sultan Syarif Kasim State Islamic University, Riau

Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

### **ABSTRACT**

*Defense in a country is all forms of effort in defending the country's sovereignty. Therefore, in major countries, each other tries to develop weapons as defense by prioritizing the application of advanced technology. One of the weapon technologies that have experienced developments in the Indonesian state is the Turret-Gun. Turret-Gun is a long-barrel weapon system that can be operated manually or automatically by using a remote control. The main problem that will be focused on in this study is the control of the turret-gun elevation axis motion, where the size of the bullet is a factor that affects the dimensions and inertia of the long barrel, because the large inertia makes it difficult for the system to move with accuracy and precision. So we need a controller that can be suitable to solve this problem. In this study, the Fuzzy Sugeno controller design is combined with a PD controller to control the elevation angle of the 20 millimeter caliber Turret-Gun. This fuzzy controller is designed to maintain system performance in combination with a PD controller to be useful for speeding up response time in reaching set points and errors that are close to zero. Based on the analyzed simulation results, a combination of Fuzzy Sugeno controller with fuzzification and PD processing is obtained when the values of  $K_p = 900$  and  $K_d = 150$  using the heuristic method, succeeded in making the Turret-Gun elevation axis reach the desired set point and was able to maintain and correct the Turret-Gun elevation axis angle in 20 millimeter caliber. This can be proven by the absence of overshoot and an error of  $0^\circ$ .*

**Keywords: TURRET GUN, FUZZY, PD.**

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengemukakan sumber.

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

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

UIN SUSKA RIAU





## DAFTAR ISI

### COVER

LEMBAR PERSETUJUAN .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL .....	iv
LEMBAR PERNYATAAN .....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xvi
DAFTAR SIMBOL .....	xvii
DAFTAR SINGKATAN .....	xviii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>I-1</b>
1.1 Latar Belakang .....	I-1
1.2 Rumusan Masalah.....	I-4
1.3 Tujuan Penelitian .....	I-4
1.4 Batasan Masalah .....	I-4
1.5 Manfaat Penelitian .....	I-5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>II-1</b>
2.1 Penelitian Terkait.....	II-1
2.2 Dasar Teori.....	II-2
2.2.1 <i>Turret gun</i> .....	II-2
2.2.2 Pemodelan <i>Turret gun</i> .....	II-3
2.2.3 Motor DC Untuk Kendali Sumbu Elevasi Pada <i>Turret gun</i> .....	II-7
2.2.4 Model Matematika <i>Turret gun</i> Pada Sumbu Elevasi.....	II-9
2.3 Logika <i>fuzzy</i> .....	II-12
2.4 <i>Fuzzyfikasi</i> .....	II-12
2.4.1 Himpunan <i>Fuzzy</i> .....	II-12
2.4.2 Fungsi Keanggotaan .....	II-12
2.4.3 Sistem Inferensi <i>Fuzzy</i> .....	II-15
2.3.4 Rules .....	II-16
2.3.5 Defuzzyfikasi (penegasan) .....	II-17

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



2.5	Metode Heuristik .....	II-17
2.6	Proportiona <i>Derivatif</i> (PD) .....	II-18
2.7	Identifikasi Sistem Orde 2 .....	II-19
2.8	Matrix Laboratory (MATLAB) .....	II-20
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>III-1</b>
3.1	Proses Alur Penelitian.....	III-1
3.2	Pengumpulan Data.....	III-5
3.3	Penentuan Variabel .....	III-5
3.4	Validasi Model Matematis.....	III-5
3.5	Perancangan Pengendali <i>Fuzzy</i> .....	III-5
3.6	Perancangan Pengendali <i>Proportional Derivative</i> (PD).....	III-9
3.7	Desain pengendali <i>fuzzy</i> sugeno dan PD.....	III-10
3.8	Penelitian Selanjutnya.....	III-11
<b>BAB IV HASIL DAN ANALISA .....</b>		<b>IV-1</b>
4.1	Gambaran Umum Anasila Sistem.....	IV-1
4.2	Hasil Pengujian <i>Turret Gun</i> Secara <i>Open Loop</i> .....	IV-1
4.3	Hasil Pengendalian <i>Fuzzy</i> Sugeno-PD Dalam Mencapai <i>Setpoint</i> Pada <i>Turret Gun</i> . IV-5	
4.3.1	Hasil Pengendali <i>Fuzzy</i> Sugeno-PD Dalam Pencapaian <i>Setpoint</i> 30° Pada <i>Turret Gun</i> .....	IV-6
4.3.2	Hasil Pengendali <i>Fuzzy</i> Sugeno-PD Dalam Pencapaian <i>Setpoint</i> 55° Pada <i>Turret Gun</i> .....	IV-10
4.3.3	Penalaan Nilai Untuk Pengendali PD .....	IV-14
4.4	Hasil Pengendalian <i>Fuzzy</i> Sugeno-PD Terhadap <i>Setpoint</i> Yang Berbeda.....	IV-15
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>V-1</b>
5.1	Kesimpulan .....	V-1
5.2	Saran .....	V-1
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>V-1</b>

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## DAFTAR GAMBAR

GAMBAR 2. 1 SISTEM TURRET DAN GUN [3] .....	II-3
GAMBAR 2. 2 FREE BODY DIAGRAM SISTEM ELEVASI TURRET GUN [1].....	II-7
GAMBAR 2. 3 REPRESENTASI LINIER NAIK [16]. .....	II-13
GAMBAR 2. 4 REPRESENTASI LINIER TURUN [16].....	II-13
GAMBAR 2. 5 REPRESENTASI KURVA SEGITIGA [16].....	II-14
GAMBAR 2. 6 REPRESENTASI KURVA TRAPEZIUM [16} .....	II-14
GAMBAR 2. 7 REPRESENTASI KURVA BENTUK BAHU [16]. .....	II-15
GAMBAR 2. 8 BLOK DIAGRAM CONTROL PD [19]. .....	II-18
GAMBAR 2. 9 RESPON SISTEM ORDE 2[19].....	II-19
GAMBAR 2. 10 TAMPILAN MATLAB [21]. .....	II-21
GAMBAR 3. 1 FLOW CHART PENELITIAN .....	III-2
GAMBAR 3. 2 BLOK SIMULASI TURRET GUN SECARA OPEN LOOP. ....	III-5
GAMBAR 3. 3 FUNGSI KEANGGOTAAN INPUT ERROR .....	III-6
GAMBAR 3. 4 FUNGSI KEANGGOTAAN INPUT DELTA ERROR.....	III-7
GAMBAR 3. 5 FUNGSI KEANGGOTAAN OUTPUT.....	III-7
GAMBAR 3. 6 DIAGRAM SISTEM TURRET GUN DENGAN PENGENDALI FUZZY. ....	III-9
GAMBAR 3. 7 BLOK PENGENDALI PID.....	III-10
GAMBAR 3. 8 DIAGRAM BLOK SISTEM TURRET GUN DENGAN FUZZY SUGENO-PD .....	III-10
GAMBAR 4. 1 BLOK SIMULASI TURRET GUN SECARA OPEN LOOP .....	IV-1
GAMBAR 4. 2 RESPON OPEN LOOP SISTEM TURRET GUN.....	IV-2
GAMBAR 4. 3 HASIL KELUARAN RESPON OUTPUT SUMBU ELEVASI TURRET GUN SECARA OPEN LOOP SETELAH DI ZOOM. ....	IV-2
GAMBAR 4. 4 DATA DELAY TIME SISTEM TURRET GUN SUMBU ELEVASI SECARA OPEN LOOP. ....	IV-3
GAMBAR 4. 5 DATA RISE TIME 10% DARI STEADY STATE SISTEM TURRET GUN SUMBU ELEVASI SECARA OPEN LOOP.....	IV-3
GAMBAR 4. 6 DATA RISE TIME 90% DARI STEADY STATE SISTEM TURRET GUN SUMBU ELEVASI SECARA OPEN LOOP.....	IV-4
GAMBAR 4. 7 DATA SETTLING TIME SISTEM TURRET GUN SUMBU ELEVASI SECARA OPEN LOOP. ....	IV-5

Hak cipta dilindungi Undang-Undang. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengemukakan dan menyebarkan sumber.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak Cipta Milik UIN Suska Riau. Jl. Sekeloa Timur, Pekanbaru, Riau.



GAMBAR 4. 20 BLOK SIMULINK TURRET-GUN MENGGUNAKAN PENGENDALI FUZZY SUGENO-PD PADA SUMBU ELEVASI TURRET-GUN. ....IV-6

GAMBAR 4. 21 GRAFIK KELUARAN SISTEM TURRET-GUN SUMBU ELEVASI MENGGUNAKAN PENGENDALI FUZZY SUGENO-PD. ....IV-6

GAMBAR 4. 22 DATA DELAY TIME SISTEM TURRET GUN SUMBU ELEVASI MENGGUNAKAN PENGENDALI FUZZY SUGENO-PD SETELAH DI ZOOM. ....IV-7

GAMBAR 4. 23 DATA RISE TIME 10 % DARI STEADY STATE SISTEM TURRET GUN SUMBU ELEVASI MENGGUNAKAN PENGENDALI FUZZY SUGENO-PD SETELAH DI ZOOM.....IV-7

GAMBAR 4. 24 DATA RISE TIME 90 % DARI STEADY STATE SISTEM TURRET GUN SUMBU ELEVASI MENGGUNAKAN PENGENDALI FUZZY SUGENO-PD.....IV-8

GAMBAR 4. 25 DATA SETTLING TIME SISTEM TURRET GUN SUMBU ELEVASI MENGGUNAKAN PENGENDALI FUZZY SUGENO-PD SETELAH DI ZOOM. ....IV-9

GAMBAR 4. 26 BLOK SIMULINK TURRET-GUN MENGGUNAKAN PENGENDALI FUZZY SUGENO-PD PADA SUMBU ELEVASI TURRET-GUN. ....IV-10

GAMBAR 4. 27 GRAFIK KELUARAN SISTEM TURRET-GUN SUMBU ELEVASI MENGGUNAKAN PENGENDALI FUZZY SUGENO-PD. ....IV-10

GAMBAR 4. 28 DATA DELAY TIME SISTEM TURRET GUN SUMBU ELEVASI MENGGUNAKAN PENGENDALI FUZZY SUGENO-PD SETELAH DI ZOOM. ....IV-11

GAMBAR 4. 29 DATA RISE TIME 10 % DARI STEADY STATE SISTEM TURRET GUN SUMBU ELEVASI MENGGUNAKAN PENGENDALI FUZZY SUGENO-PD SETELAH DI ZOOM.....IV-12

GAMBAR 4. 30 DATA RISE TIME 90 % DARI STEADY STATE SISTEM TURRET GUN SUMBU ELEVASI MENGGUNAKAN PENGENDALI FUZZY SUGENO-PD.....IV-12

GAMBAR 4. 31 DATA SETTLING TIME SISTEM TURRET GUN SUMBU ELEVASI MENGGUNAKAN PENGENDALI FUZZY SUGENO-PD SETELAH DI ZOOM. ....IV-13

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengacukan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan pendidikan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
 UIN Suska Riau  
 Sultan Syarif Kasim Riau



## DAFTAR TABEL

TABEL 2.1 NILAI-NILAI PARAMETER DARI TURRET GUN [1].....	II-11
TABEL 2.2 PENGARUH TERHADAP PARAMETER PID[20].....	II-19
TABEL 3.1 RULE BASE PENGENDALI FUZZY .....	III-8
TABEL 4.1 RESPON WAKTU SISTEM MENGGUNAKAN PENGENDALI FUZZY SUGENO-PD PADA SETPOINT 30°.....	IV-9
TABEL 4.2 RESPON WAKTU SISTEM MENGGUNAKAN PENGENDALI FUZZY SUGENO-PD PADA SETPOINT 55°.....	IV-14
TABEL 4.3 NILAI PENALAN PADA SUDUT 30° .....	IV-14
TABEL 4.4 NILAI PENALAN PADA SUDUT 55° .....	IV-15
TABEL 4.5 HASIL RESPON WAKTU PADA SUDUT YANG BERBEDA.....	IV-15

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

## DAFTAR SIMBOL

© Hak Cipta dimiliki UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

- Integral*
- Konstanta Waktu
- Turunan
- Sudut *Azimuth*
- Sudut Elevasi
- Gaya Gravitasi Yang Dialami Sistem
- Torsi sistem

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



UIN SUSKA RIAU



## DAFTAR SINGKATAN

- Hak Cipta ini milik UIN Suska Riau. Untuk penyalinan atau penggunaan sebagian atau seluruhnya tanpa izin tanpa menandatangani dan menyebutkan sumber:
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa menandatangani dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LQR	= <i>Linear Quadratic Regulator</i>
PID	= <i>Proportional Integral Derivative</i>
PD	= <i>Proportional Derivative</i>
MATLAB	= <i>Matrix Laboratory</i>
AFC	= <i>Acceleration Force Control</i>
RAC	= <i>Resolve Acceleration control</i>
RCWS	= <i>Remote Controlled Weapon System</i>
AC	= <i>alternating current</i>
DC	= <i>direct current</i>
$K_p$	= konstanta <i>Proportional</i>
$K_d$	= konstanta <i>derivative</i>
$t_r$	= <i>rise time</i>
$t_s$	= <i>settling time</i>
$t_d$	= <i>delay time</i>
$t_p$	= waktu puncak
$M_p$	= maksimum <i>overshoot</i>
$e_{ss}$	= <i>error steady state</i>

UIN SUSKA RIAU



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam suatu Negara pertahanan ialah salah satu upaya dalam melindungi kedaulatan Negara. Keutuhan wilayah dan keselamatan segenap bangsa dari berbagai bentuk ancaman yang ada [1]. Pertahanan dalam sebuah Negara dapat di dukung dengan kecanggihan sarana dan prasarana, maka diciptakan-lah senjata sebagai alat pertahanan. Pada tahun 2016 Pindad dan pemerintahan Indonesia telah bekerja sama dalam mengembangkan alat dan perlengkapan militer sebagai bisnis industri persenjataan, maka dapat meningkatkan kekuatan tempur tentara Indonesia untuk menjaga pertahanan. Dari beberapa persenjataan yang dikembangkan dan diproduksi yaitu amunisi, bahan peledak, senjata dan kendaraan khusus. Pada kendaraan khusus yaitu tank, maka pindad mengembangkan dan memproduksi tank menggunakan teknologi *turret gun*. *Turret gun* adalah teknologi yang mampu mempermudah kerja militer dalam melumpuhkan target. Hal ini dapat membuktikan *turret gun* adalah teknologi yang sedang berkembang dan mempunyai peran penting di kendaraan khusus militer Indonesia [2].

Pada *turret gun* ada aspek penting yang dikembangkan yaitu kecepatan dan ketepatan untuk mencapai posisi target. Dalam *turret gun* ini muncul permasalahan dalam segi pengontrolan yaitu pada aspek metode pengontrolan yang tepat dikarenakan factor dari dinamika sistem. Dimana sistem *control* adalah sebagai otak yang sangat mempengaruhi desain *controler turret gun* [3]. Pada sistem *Turret gun* memiliki sumbu gerak yaitu sumbu azimuth dan sumbu elevasi. Pada sumbu masing-masing memiliki batas gerak rotasi, yang mana pada sumbu elevasi rotasi nya hanya terbatas sebesar  $70^\circ$  untuk mengatur jarak target. Kemudian sumbu azimuth memiliki rotasi yang lebih besar yaitu  $360^\circ$  untuk bisa berputar agar mencapai titik koordinat yang diinginkan. Saat ini banyak digunakan teknologi *turret gun* karena proses kerjanya yang lebih cepat, serta mempunyai mekanisme yang pada proses nya akan otomatis dalam mengisi amunisi agar dapat menembak lebih jauh dan mencapai arah yang lebih cepat. Besar kecil nya *turret gun* akan disesuaikan seperti apa yang dibutuhkan dari pemakaiannya, semakin besar kaliber peluru maka semakin besar pula target yang dapat ditembak. Akibat dari besar kaliber dan target yang akan di tembak, maka berat dan dimensi *turret gun* akan lebih besar pula. Hal ini menyebabkan *turret gun* akan lebih sulit dikendalikan dalam mengatur posisi jarak tembak





target, sehingga dibutuhkan pengendali yang mampu menyelesaikan permasalahan tersebut [4].

Beberapa penelitian yang sudah membahas *turret gun*, salah satu nya menggunakan metode *Acceleration Force Control (AFC)* dan *Resolve Acceleration control (RAC)* dan dibandingkan nya dengan metode *control PID* pada sistem *Remote Controlled Weapon System (RCWS)* kaliber 12,7mm. Peneliti mencoba untuk menyelesaikan pada permasalahan pergerakan posisi pada *turret gun* dengan memakai metode kecepatan dan didapatkan hasil pergerakan yang halus, namun masih memiliki permasalahan pada *overshoot* yang belum terselesaikan [5]. Penelitian lain tentang *turret-gun* pun ikut dikembangkan sebagai analisa dan penerapan *PID* pada *turret gun* di sumbu elevasi pada kaliber 20mm. Penelitian sumbu elevasi pada kaliber 20mm ini menggunakan kendali *Proportional Integral Derivative (PID)* menggunakan metode *root locus* maupun metode *routh-hurwitz* dan berhasil dalam mencapai *setpoint* namun masih ada *overshoot* yang besar. menyebabkan hasil dari kerja nya belum mencapa maksimal [1].

Selanjutnya pada penelitian terhadap sumbu elevasi turret-gun kaliber 20 mm dengan pengendalian *LQR-PD* yang dapat dijelaskan bahwa hasil untuk mencapai *setpoint* sangat bagus. Kemudian untuk hasil overshoot dan error pada *setpoint* 30 derajat sangat bagus karena overshoot memiliki nilai yang kecil dan error sudah di angka nol koma[6].

Pada penelitian selanjutnya yaitu pengaturan pada sumbu elevasi turret-gun dengan kendali *PI* pada parameter nilai, diamana nilai didapat dari hasil simulasi tuning *Ziegler-Nichols*. Hasil dari penelitian ini menjelaskan pada saat sumbu elevasi di berikan *setpoint* 5 derajat menunjukkan overshoot masih besar, dan jika diberikan *setpoint* 10 derajat pun masih mendapatkan hasil overshoot masih besar, akan tetapi nilai overshoot yang dihasilkan lebih kecil dari *setpoint* yang 5 derajat [7].

Dari beberapa penelitian mengenai sistem turret-gun diatas merupakan sistem yang sulit untuk dikendalikan. Terbukti dengan menggunakan beberapa sistem pengendali seperti *AFC*, *PID*, *PI* masih terdapat overshoot dan osilasi yang menyebabkan respon kurang baik sehingga membutuhkan pengendali yang mampu meredam osilasi dan overshoot. Sistem elevasi pada turret-gun juga mempunyai permasalahan utama, yakni respon sistem yang tidak mampu mencapi *setpoint* yang diakibatkan dari berat dan dimensi turret yang bergantung pada kaliber peluru. Sehingga respon dari sistem tidak



mendapatkan hasil yang akurat dan presisi. Oleh karena itu sangat diperlukan sebuah pengendali yang bisa mengatasi permasalahan dan mampu beradaptasi. Maka dari itu pengendali yang dipilih adalah pengendali *Fuzzy*.

*Fuzzy* dipilih karena kendali *fuzzy* memiliki sifat yang baik untuk melakukan penalaran terhadap *turret gun*. Ini dikarenakan *fuzzy* mempunyai prinsip serupa layaknya manusia melakukan penalaran dengan naluri nya. Sehingga pengendali *fuzzy* diusulkan untuk mengatasi permasalahan yang ada pada *turret gun* agar dapat menjaga kestabilan dan *overshoot* yang berlebih. Kendali *fuzzy* dengan prinsip seperti penalaran manusia, maka dapat dilihat dari penelitian terdahulu yang memakai logika *fuzzy* dalam menentukan jumlah produksi roti berdasarkan data persediaan dan jumlah permintaan. Hal ini dikarenakan menggunakan penalaran *fuzzy* metode sugeno bisa mencapai kebenaran 86,92% untuk jumlah yang akan diproduksi berdasarkan dari jumlah permintaan dan persediaan yang ada [8]. Kemudian kendali *fuzzy* juga dibuktikan pada penelitian komparasi kendali motor DC dengan logika *fuzzy* metoda mamdani dan sugeno. Dalam penelitian ini menunjukkan bahwa dengan kendali *fuzzy* bisa mendapatkan respon yang cepat untuk memperoleh hasil *output* yang diinginkan. Pada penelitian ini menjelaskan bahwa pada metode sugeno dapat mencapai *steady state* dengan cepat [9].

Penelitian selanjutnya menggunakan kendali *Proportional derivative* (PD). Pada penelitian ini dapat dijelaskan bahwa menggunakan kendali PD pada motor DC dapat berfungsi baik, karena pengendali PD dapat digunakan pada berbagai aplikasi dikarenakan kemudahan dalam perancangannya dan performa kinerjanya. Seperti perancangan dan pengujian sistem pengendali sudut untuk motor DC menggunakan kendali PD, yang mendapatkan hasil percobaan yang bisa diketahui bahwa toleransi untuk mendapatkan akurasi sudut hingga di bawah  $1^\circ$  [10]. Kemudian pada saat *control* PID dikombinasikan dengan *fuzzy* maka dapat menghasilkan *controler* yang lebih baik. Ini dibuktikan bahwa *control fuzzy* hybrid PD mampu menghasilkan tanpa adanya *overshoot* dan *error steady state* [11].

Selanjutnya pada penelitian sebelumnya menggunakan kendali *fuzzy hybrid* PD. Pada penelitian ini mendapatkan hasil kinerja yang sangat baik dalam menurunkan *overshoot* dan mengurangi *error steady state* yang sangat baik. Bisa dibuktikan pada penelitian rancang bangun pengendali suhu yang mendapatkan hasil *overshoot* yang terbilang kecil [12]. Kemudian pada penelitian serupa yang menggunakan *fuzzy*-PD bisa



dikatakan berhasil karena sangat membantu dalam proses kerja yang menggantikan kerja manusia. Ini menyatakan bahwa menggunakan kendali *fuzzy*-pd dapat mempersingkat waktu dan mengurangi *error steady state* yang terjadi. Dalam kasus ini dijelaskan bahwa menggunakan kendali ini dapat dijalankan dengan bagus dan dapat mengontrol pergerakan motor DC yang mana ini adalah alat untuk melipat kain [13].

Dari uraian tersebut bahwa untuk mengatasi permasalahan pada *turret gun* bisa menggunakan pengendali *fuzzy* sugeno yang dikombinasikan dengan PD. Karena kendali *fuzzy* sugeno hybrid PD bisa saling mengurangi kekurangan dari masing-masing kendali. Karena alasan tersebut penulis mengambil keputusan untuk membuat penelitian tugas akhir tentang **“PERNCANGAN KENDALI FUZZY SUGENO-PD UNTUK PENGENDALIAN SUDUT SUMBU ELEVASI PADA TURRET GUN”**.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang yang diuraikan pada sebelumnya, permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang kendali *Fuzzy Sugeno-PD* untuk pengendalian sudut sumbu elevasi pada *turret gun* yang belum sesuai dengan *set point* yang diberikan dan mengurangi waktu terhadap delay time, rise time, setling time pada saat diberikan *setpoint* yang berbeda.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini ialah dapat merancang kendali *Fuzzy Sugeno-PD* untuk pengendalian sudut sumbu elevasi pada *turret gun* agar sesuai dengan nilai *set-point* yang diberikan dengan *error steady state* dan *overshoot*.

## 1.4 Batasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini dengan beberapa batasan masalah, yaitu sebagai berikut:

1. Kaliber peluru dari *turret gun* yang digunakan pada pemodelan ini adalah kaliber 20 milimeter.
2. Penalaran dari nilai  $K_p$  dan  $K_d$  pada pengendali PD dilakukan dengan metode heuristik.
3. Desain kendali fuzzy menggunakan 25 rules dengan metode sugeno dalam mempermudah penentuan parameter kendali.
4. Pembahasan hanya terbatas pada sudut sumbu elevasi pada *turret gun*.
5. Penelitian tidak menggunakan gangguan atau beban.



6. Tidak membahas perangkat keras dari turret gun.

7. Simulasi hanya menggunakan *software* Matlab dan *Simulink*.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari tugas akhir ini adalah:

1. Memberikan sebuah gambaran bagaimana merancang pengendali *Fuzzy sugeno hybrid* PD.
2. Memberikan sebuah gambaran pada hasil simulasi terhadap *setpoint* yang berbeda.
3. Dapat memberikan wawasan baru terhadap penulis dan pembaca tentang proses pengendalian sumbu elevasi di *turret gun*.
4. Menjadi sebuah rujukan referensi dan gambaran terhadap penerapan yang sebenarnya.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

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

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terkait

Dalam penelitian ini dilakukan studi literatur dalam mencari dasar teori dan referensi yang berkaitan dengan *turret gun* dan pengendali *Fuzzy sugeno-PD*.

Penelitian terkait tentang *turret gun*, penelitian ini membahas bagaimana merancang pengendali LQR-PD pada *turret gun* di sumbu Elevasi. Kendali LQR-PD digunakan untuk mengendalikan mekanisme dan parameter yang ada pada *turret gun*. Hasil dari penelitian terbukti bahwa pengendali LQR-PD dapat mengendalikan *turret gun* namun masih memiliki overshoot yaitu 0.004% dan error 0.0001°[6]. Kemudian penelitian serupa yang masih berkaitan tentang *turret gun* yaitu membahas bagaimana merancang pengendali PID pada sumbu elevasi. Setelah melakukan perancangan kendali PID terhadap *turret gun* maka di dapat hasil yang cukup bagus, dimana masih memiliki overshoot yang besar yaitu 19.9 %, namun dapat mengurangi *error steady state* yang sangat baik yaitu 0% [1].

Kemudian ada penelitian tentang pengaturan sumbu elevasi di turret-gun memakai kendali PI dengan parameter nilai yang dihasilkan dari simulasi tuning *ziegler-nichols*. Hasil dari penelitian ini dapat dilihat saat sumbu elevasi diberikan dengan *setpoint* 5 derajat, maka didapatkan hasil *overshoot* masih besar yaitu 120% kemudian saat diberikan *setpoint* 10 derajat didapatkan hasil *overshoot* yaitu 70% . Namun hasil *setpoint* 10 derajat mendapatkan hasil overshoot lebih kecil dari pada hasil *setpoint* yang 5 derajat [7]. Selanjutnya penelitian turret-gun menggunakan metode *Active Force Control* dan *Crude Approximation* sebagai estimasi parameter inersia sistem pada kaliber 12mm. Hasil yang didapat yaitu osilasi dan overshoot bisa diatasi. Namun saat ketika membesarnya pergerakan sudut, sumbu elevasi mulai memberikan overshoot meskipun akhirnya bisa mencapai target[3].

Dan penelitian lain yang terkait membahas motor DC menggunakan kendali *Proportional Derivative* (PD), dimana menggunakan kendali PD dapat berfungsi baik dikarenakan kemudahan dalam perancangan-nya dan performa kinerjanya. Dalam penelitian ini didapat hasil percobaan yang bisa diketahui bahwa toleransi untuk mendapatkan akurasi sudut hingga di bawah 1 derajat [10]. Selanjutnya penelitian terkait tentang *fuzzy hybrid* PD. Penelitian ini membahas pengendalian terhadap suhu



menggunakan kendali *fuzzy hybrid* PD yang mendapatkan hasil kinerja yang sangat baik dalam memperkecil overshoot pada suhu 30 derajat yaitu 0.03% dan overshoot pada suhu 40 derajat yaitu 0.01% [12].

Dari berbagai penelitian yang sudah dilakukan, maka dengan melakukan penggabungan antara kendali *fuzzy* dan PD untuk menghasilkan kestabilan dan dapat mengurangi kekurangan dari masing-masing pengendali yaitu kendali *fuzzy* dan kendali PD. Dalam hal ini diperlukan penelitian tentang *fuzzy* dan PD pada *turret gun* di sumbu elevasi.

## 2.2 Dasar Teori

Pada sub bab dasar teori ini akan membahas tentang sistem dari *turret gun* dan model matematis sistem *turret gun*.

### 2.2.1 *Turret gun*

*Turret gun* adalah senjata yang bisa di tembak-kan ke segala arah dengan mekanisme kerjanya yaitu mengikuti putaran dalam orientasi di sumbu azimuth dan elevasi. Sumbu elevasi dan azimuth pada *turret gun* dioperasikan dengan cara bergantian. Pada saat sumbu elevasi dioperasikan maka sumbu azimuth dalam posisi diam, dan begitu sebaliknya pada sumbu azimuth dioperasikan. Itu dikarenakan sumbu azimuth dan sumbu elevasi tidak dapat dioperasikan secara bersamaan. *Turret gun* ini dapat dipasang di area bangunan dan juga bisa pada kendaraan militer. *Turret gun* biasanya diimplementasikan dengan satu atau lebih untuk meriam otomatis seperti senapan mesin, peluru rudal dan senjata berkaliber besar. Ada factor penting yang harus diketahui dalam mengendalikan sistem pada *turret gun* yaitu kecepatan dan kecepatan dalam membidik posisi target. Penyebab dari permasalahan dalam menentukan metode *control* yang sesuai pada *turret gun* adalah factor dinamika, itu dikarenakan sistem *control* sangat mempengaruhi desain kendali untuk *turret gun*[14].

Kinematika *turret-gun* adalah gerakan dari posisi mekanik sistem yang berbasis dari transformasi koordinat dengan tidak memperdulikan perhitungan massa pada sistem mekanik tersebut. Dinamika *turret-gun* adalah gerakan posisi dari mekanik sistem yang berbasis dari transformasi koordinat yang dipengaruhi dari perhitungan massa pada sistem mekanik tersebut. Perubahan dari massa berbanding lurus dengan perubahan torsi, dimana semakin besar massa maka torsi yang dihasilkan juga semakin besar, dan begitu juga

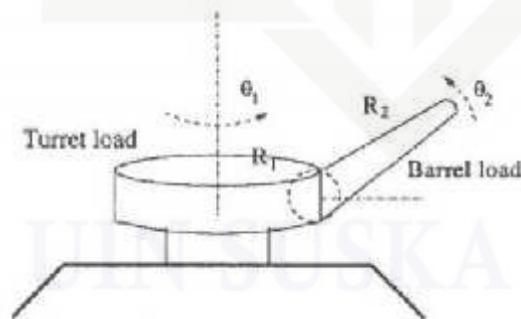


sebaliknya. Besaran dari torsi yang dihasilkan akan berbanding lurus dengan inersia yang dihasilkan. Pengendalian *turret gun* dalam mencapai tujuan dan posisi yang sesuai target maka ada hal penting yang harus dipertimbangkan, yaitu besaran inersia yang dihasilkan oleh pergerakan *turret gun*[5].

Pada awal mula perkembangan *turret gun* terbilang sulit untuk dikendalikan, karena ukuran dan massa yang berat sangat sulit untuk dikendalikan dengan kecepatan tinggi. Sehingga senjata yang akan diarahkan ke target sulit untuk mencapai sasaran yang dituju dengan tepat. Metode pengendalian yang sudah pernah dilakukan pada *turret gun* adalah *solution* iterasi berbasis metode *newton* dan *trapezoidal* dalam toleransi *backlash*. Backlash adalah gangguan yang terjadi pada *turret gun* yang menyebabkan penurunan pada performansi dari sistem. Saat masa selanjutnya dikembangkan menggunakan pengendalian robot otomatis dimana memiliki karakteristik yang mirip dengan kendali pada *turret gun*[15].

### 2.2.2 Pemodelan *Turret gun*

Menurut kondisi operasi dan tujuan pada pemodelan ini penting dalam memperoleh keseimbangan dari kesederhanaan dan kerumitan model, sehingga harus dipertimbangkan relevansi sistem dan sub sistem. Pada pemodelan dinamis banyak perhitungan yang dilakukan sebelum mendapatkan model tersebut. Oleh sebab itu perlu pendekatan lain terhadap beberapa bagian yang harus diasumsikan dan di pertimbangkan.



Gambar 2. 1 sistem turret dan gun [3]



Pada gambar 2.1 dapat di ilustrasikan bahwa *turret* yaitu komponen bergerak memutar  $360^\circ$  yang dimiliki pada sumbu *azimuth*. Sedangkan gun adalah komponen bergerak naik turun  $70^\circ$  yang dimiliki pada sumbu elevasi. Kedua komponen itu memiliki nilai parameter, radius, massa dan posisi angular yang sama. Berdasarkan gambar 2.1 bisa dilihat bahwa sistem ini mempunyai 2 beban yaitu beban dari turret dan beban dari laras pada gun. Setiap beban yang ada pada turret dan gun akan didorong oleh roda gigi yang memiliki backlash. Dengan  $m_1$  sebagai massa dari beban, lalu  $R_1$  sebagai jari-jari, dan kemudian  $\theta_1$  merupakan posisi dari sudut turret. Selanjutnya ada  $m_2$  sebagai massa beban, jari-jari di simbol kan sebagai  $R_2$ , dan posisi sudut pada gun disimbolkan sebagai  $\theta_2$  [15].

Untuk model bisa diperoleh dengan persamaan *Euler\_lagrange* [16]. Yang mana L ialah energi dari kinetik total yang dikurang dengan energi dari potensial total sistem, maka  $L = EK_{total} - EP_{total}$ . Dimana turret ini bisa disebut rigid dan pejal pada silinder yang dapat diputar pada ujungnya silinder untuk poros putar nya seperti pada gambar 2.1. Ini dikarenakan sistem bergerak pada *rotational* dengan adanya dua pergerakan yang menyebabkan *energy* kinetik total nya ialah energi pada saat berputar dan gerak nya gun ke atas dan kebawah. Sedangkan dari *energy* potensial nya bisa didapat dari gerakan gun. Selanjutnya dapat dilihat *energy* kinetik sebagai berikut:

$$EK_{total} = EK_{turret} + EK_{gun} \tag{2.1}$$

$$= \frac{1}{2}I(\dot{\theta}_1)^2 + \frac{1}{2}I(\dot{\theta}_2)^2 \tag{2.2}$$

$$EK_{total} = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2}m_1R_1^2 + m_2R_1^2 + m_2R_1R_2 \cos(\theta) + \frac{1}{3}m_2R_2^2 \cos^2(\theta_2) \right) (\dot{\theta}_1)^2 + \left( \frac{1}{3}m_2R_2^2 \right) (\dot{\theta}_2)^2 \tag{2.3}$$

$$EP_{total} = \frac{1}{2}m_2gR_2 \cos(\theta_2) \tag{2.4}$$

Dari hasil persamaan (2.3) dan (2.4) maka diperoleh:

$$L = EK_{total} - EP_{total} \tag{2.5}$$

$$= \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2}m_1R_1^2 + m_2R_1^2 + m_2R_1R_2 \cos(\theta_2) + \frac{1}{3}m_2R_2^2 \cos^2(\theta_2) \right) (\dot{\theta}_1)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{1}{3}m_2R_2^2 \right) (\dot{\theta}_2)^2 - \frac{1}{2}m_2gR_2 \cos(\theta_2) \tag{2.6}$$

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

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

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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





Persamaan gerak dinamik dari sistem *turret gun* dapat diperoleh dengan cara substitusi persamaan (2.6) ke persamaan *Euler-Langrange* :

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} - \frac{\partial L}{\partial \theta} = \tau \tag{2.7}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_1} = \left( \frac{1}{2} m_1 R_1^2 + m_2 R_1^2 + m_2 R_1 R_2 \cos(\theta_2) + \frac{1}{3} m_2 R_2^2 \cos^2(\theta_2) \right) (\dot{\theta}_1) \tag{2.8}$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_1} \left( \frac{1}{2} m_1 R_1^2 + m_2 R_1^2 + m_2 R_1 R_2 \cos(\theta_2) + \frac{1}{3} m_2 R_2^2 \cos^2(\theta_2) \right) (\ddot{\theta}_1) + \left( -m_2 R_1 R_2 \sin(\theta_2) \dot{\theta}_2 - \frac{1}{3} m_2 R_2^2 \sin(2\theta_2) \dot{\theta}_2 \right) \dot{\theta}_1 \tag{2.9}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_1} = 0 \tag{2.10}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_2} = \left( \frac{1}{3} m_2 R_2^2 \right) \dot{\theta}_2 \tag{2.11}$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_2} = \left( \frac{1}{3} m_2 R_2^2 \right) \ddot{\theta}_2 \tag{2.12}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_2} = \frac{1}{2} \left( -m_2 R_1 R_2 \sin(\theta_2) - \frac{1}{3} m_2 R_2 R_2^2 \sin(2\theta_2) \dot{\theta}_1 + \frac{1}{2} m_2 g R_2 \cos(\theta_2) \right) \tag{2.13}$$

Diperoleh:

$$\tau_1 = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_1} - \frac{\partial L}{\partial \theta_1} \tag{2.14}$$

$$\tau_1 = \left( \frac{1}{2} m_1 R_1^2 + m_2 R_1^2 + m_2 R_1 R_2 \cos(\theta_2) + \frac{1}{3} m_2 R_2^2 \cos^2(\theta_2) \right) (\ddot{\theta}_1) + \left( -m_2 R_1 R_2 \sin(\theta_2) \dot{\theta}_2 - \frac{1}{3} m_2 R_2 R_2^2 \sin(2\theta_2) \dot{\theta}_2 \right) \dot{\theta}_1 - 0 \tag{2.15}$$

$$\tau_2 = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_2} - \frac{\partial L}{\partial \theta_2} \tag{2.16}$$

$$\tau_2 = \left( \frac{1}{3} m_2 R_2^2 \right) \ddot{\theta}_2 - \frac{1}{2} \left( \left( -m_2 R_1 R_2 \sin(\theta_2) - \frac{1}{3} m_2 R_2 R_2^2 \sin(2\theta_2) \dot{\theta}_1 \right) + \frac{1}{2} m_2 g R_2 \cos(\theta_2) \right) \tag{2.17}$$

Maka dengan metode Langrange [16] persamaan dari gerak dinamik nya adalah sebagai berikut [15]:

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 1. Dilarang mengutip, memperbanyak, atau menerbitkan sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.  
 1. Dilarang mengutip, memperbanyak, atau menerbitkan sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



$$D(\theta)\ddot{\theta} + C(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta} + G(\theta) = \tau \tag{2.18}$$

Dengan:

- $\tau$  = Torsi sistem
- $D(\theta)$  = Matrik Inersia
- $C(\theta, \dot{\theta})$  = Vektor Gaya Koriolis Dan Sentrifugal
- $G(\theta)$  = Gaya Gravitasi

Sehingga persamaan dari (2.15) dan (2.17) akan menjadi:

$$\begin{bmatrix} D_{11} & 0 \\ 0 & D_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ G_{21} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} \tag{2.19}$$

Keterangan:

$$G_{21} = \frac{1}{2} m_2 g R_2 \cos(\theta_2) \tag{2.20}$$

$$D_{11} = \frac{1}{2} m_1 R_1^2 + m_2 R_1^2 + m_2 R_1 R_2 \cos \theta_2 + \frac{1}{3} m_2 R_2^2 \cos^2(\theta_2) \tag{2.21}$$

$$D_{22} = \frac{1}{3} m_2 R_2^2 \tag{2.22}$$

$$C_{11} = -m_2 R_1 R_2 \sin(\theta_2) \ddot{\theta}_2 \tag{2.23}$$

$$C_{12} = \left( \frac{1}{3} m_2 R_2 R_2^2 \sin(2\theta_2) \dot{\theta}_1 \right) \tag{2.24}$$

$$C_{21} = \left( \frac{1}{2} m_2 R_1 R_2 \sin(\theta_2) + \frac{1}{6} m_2 R_2^2 \sin(\theta_2) \right) \dot{\theta}_1^2 \tag{2.25}$$

Dengan keterangan:

$\theta_1$  = Sudut Azimuth

$\theta_2$  = Sudut Elevasi

$m_1$  = Massa Turret

$m_2$  = Massa Gun

$R_1$  = Jari-Jari Turret

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

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

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



$R_2 =$  Jari-Jari Gun

$G =$  Gaya Gravitasi

Dari sistem dinamik tersebut merupakan jumlah dari torsi yang ada pada sistem *turret gun*. Persamaan tersebut kemudian Akan menjadi[1]:

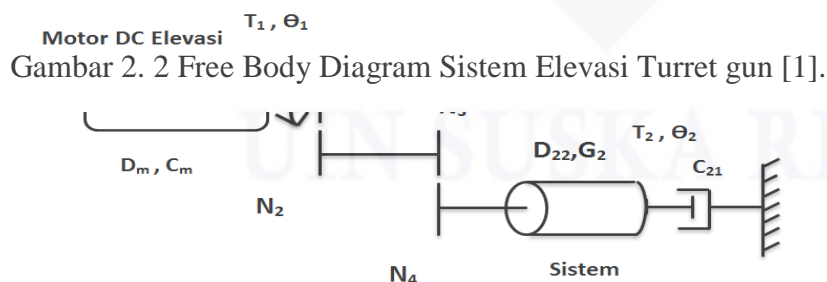
$$\ddot{\theta}_1 = \frac{\tau_1 - C_{11}\dot{\theta}_1 - C_{12}\dot{\theta}_2}{D_{11}} \tag{2.26}$$

$$\ddot{\theta}_2 = \frac{\tau_2 - C_{21} - G}{D_{22}} \tag{2.27}$$

Persamaan dari (2.26) dan (2.27) menunjukkan perubahan dari kecepatan *turret gun* berbanding lurus dengan torsi yang sudah dialami pada turret dan dikurangi dengan efek gaya z, dan koriolis pada turret yang dikasih oleh inersia turret. Hal serupa juga berlaku pada komponen gun, yang mana komponen gun juga akan dipengaruhi dari gaya gravitasi yang ada. Sehingga didapat bahwa perubahan kecepatan pada gun berbanding lurus dengan torsi yang di alami oleh gun dan dikurangi dengan efek gaya koriolis dan sentrifugal. Serta gaya gravitasi yang sudah ada di gun maka dibagi-bagi dengan properti inersia dari komponen gun tersebut.

### 2.2.3 Motor DC Untuk Kendali Sumbu Elevasi Pada *Turret gun*

Pada pemodelan dari sistem kendali sumbu elevasi *turret gun* ini menggunakan *servo* motor DC sebagai penggerak utama nya. Dari gambar 2.2 ini dapat menunjukkan sistem memiliki 2 parameter untuk inersia (D) dan damping (C) dari masing-masing bagian pada *turret gun* dan pada motor DC. Sehingga akan membutuhkan penyederhanaan dari 2



Gambar 2. 2 Free Body Diagram Sistem Elevasi Turret gun [1].

parameter tersebut agar dapat menghasilkan Constanta ekuivalen yang meliputi dari keseluruhan sistem yaitu  $D_{eq}$  dan  $C_{eq}$ . Sedangkan pengaruh dari gravitasi ekuivalen ( $G_{eq}$ )

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengemukakan dan menyebutkan sumber.  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



besarnya sama dengan pengaruh gravitasi yang dialami oleh gun ( $G_2$ ) sehingga dapat dirumuskan [1]:

$$D_{eq} = D_m \left( \frac{N_2 \times N_4}{N_1 \times N_3} \right)^2 + D_{22} \tag{2.28}$$

$$C_{eq} = C_m \left( \frac{N_2 \times N_4}{N_1 \times N_3} \right)^2 + C_{21} \tag{2.29}$$

$$G_{eq} = G_2 \tag{2.30}$$

Dengan:

- $D_{eq}$  = inersia ekivalen
- $C_{eq}$  = konstanta damping ekivalen
- $G_{eq}$  = gravitasi ekivalen
- $G_2$  = gravitasi gun
- $D_m$  = moment inersia motor DC
- $N_1$  = transmisi 1
- $N_2$  = transmisi 2
- $N_3$  = transmisi 3
- $N_4$  = transmisi 4

Selanjutnya adalah mendefinisikan pengaruh yang ditimbulkan tegangan yang masuk ke dalam motor dengan torsi yang ditimbulkan akibat dari tegangan tersebut. Hubungan diantara *armature current*  $I_a(t)$ , *armature voltage*  $E_a(t)$ , dan *back electromotive force*  $V_b(t)$  dapat dituliskan pada persamaan motor DC sebagai berikut[1]:

$$R_a I_a(t) + L_a \dot{I}_a(t) + V_b(t) = E_a(t) \tag{2.31}$$

Dimana *back electromotive force* dan *armature current* dirumuskan sebagai[1]:

$$V_b(t) = K_b \dot{\theta}_1(t) \tag{2.32}$$

$$I_a(t) = \frac{1}{K_t} T(t) \tag{2.33}$$

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

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

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

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

©Hak Cipta dilindungi UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Al-Qasim Riau



$K_t$  adalah Constanta dari torsi motor DC (*motor torque constant*). Cara untuk mendapatkan *transfer function* dari motor, maka dari persamaan (2.33) dan (2.32) disubstitusikan ke dalam persamaan (2.31) yang menghasilkan [1]:

$$\frac{(R_a + L_a)T(t)}{K_t} K_b \dot{\theta}_2(t) = E_a(t) \tag{2.34}$$

Kemudian penghubung antara torsi dan perubahan sudut dapat dirumuskan seperti [1]:

$$T_2 = D_{eq} \ddot{\theta}_2 + C_{eq} \dot{\theta}_1 + G_{eq} \tag{2.35}$$

Dimana sistem pada sumbu azimuth diasumsikan tidak bergerak, maka nilai  $\dot{\theta}_1 = 0$ , sehingga [1]:

$$T_2(t) = D_{eq} \ddot{\theta}_2(t) + G_{eq}(t) \tag{2.36}$$

Kemudian substitusi Kan persamaan (2.36) ke persamaan (2.34)

$$\frac{(R_a + L_a)D_{eq} \ddot{\theta}_2 + G_{eq}}{K_t} K_b \dot{\theta}_2 = E_a(t) \tag{2.37}$$

Nilai dari induktansi armature ( $L_a$ ) diabaikan karena mempunyai nilai yang sangat kecil untuk motor DC, maka didapat persamaan [1]:

$$\frac{R_a}{K_t} D_{eq} \ddot{\theta}_2 + K_b \dot{\theta}_2 + \frac{G_{eq}}{K_t} R_a = E_a(t) \tag{2.38}$$

$$\frac{R_a}{K_t} D_{eq} \ddot{\theta}_2 + K_b \dot{\theta}_2 + \frac{\frac{1}{2} m_2 g R_2 \cos(\theta_2)}{K_t} R_a = E_a(t) \tag{2.39}$$

#### 2.2.4 Model Matematika *Turret gun* Pada Sumbu Elevasi

Persamaan dari (2.39) merupakan persamaan sistem dengan kondisi nonlinear. Agar sistem tersebut bisa dilinierisasi, maka persamaan (2.39) harus diubah ke dalam bentuk  $\ddot{\theta}_2$  terlebih dahulu [1].

$$\ddot{\theta}_2 = \frac{E_a K_t - K_b \dot{\theta}_2 K_t - \frac{1}{2} m_2 g R_2 \cos(\theta_2) R_a}{R_a D_{eq}} \tag{2.40}$$

Persamaan (2.40) adalah persamaan dari bentuk non-linier. Dimana persamaan ini harus dilinierisasi terlebih dahulu sebelum dilakukan uji *ketercontrolan* dan *keteramatan*. Metode untuk linierisasi yang digunakan adalah metode *Jacobian*.

Misal:

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan pendidikan yang wajar UIN Suska Riau.  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencarumkan dan menyebutkan sumber.



$$x_1 = \theta_2 \tag{2.41}$$

$$x_2 = \dot{x}_1 \tag{2.42}$$

$$\dot{x}_2 = \frac{E_a K_t - K_b \dot{\theta}_2 K_t - \frac{1}{2} m_2 g R_2 \cos(\theta_2) R_a / R_a D_{eq}}{R_a D_{eq}} \tag{2.43}$$

Persamaan dari (2.41) dan (2.43) merupakan persamaan diferensial *non-linier* yang mana akan diubah menjadi persamaan linier dengan menggunakan metode *Jacobian* pada sekitar titik kesetimbangan nya. Adapun titik setimbang nya merupakan pendekatan pada saat kondisi sistem sudah tidak berubah lagi, yang bisa dirumuskan:

$$f_1(x_1, x_2) = x_2 = 0 \tag{2.44}$$

$$f_2(x_1, x_2) = \frac{E_a K_t - K_b \dot{\theta}_2 K_t - \frac{1}{2} m_2 g R_2 \cos(\theta_2) R_a}{R_a D_{eq}} \tag{2.45}$$

Pada saat kondisi setimbang ini gun dapat diasumsikan dalam keadaan diam atau memiliki kecepatan  $(x_2) = 0$ , sedangkan untuk  $x_1 = \arccos \frac{2E_a K_t}{m_2 g R_2 R_a}$  maka pada gun menjadi setimbang pada posisi dimanapun. Titik dari kesetimbangan posisi gun dimisalkan adalah  $a_2$ .

$$J(\tilde{x}) = \begin{pmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial x_1} & \frac{\partial F_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial F_2}{\partial x_1} & \frac{\partial F_2}{\partial x_2} \end{pmatrix} \tag{2.46}$$

Dari persamaan (2.46) ini merupakan persamaan untuk matriks *Jacobian*, dimana  $\tilde{x}$  adalah titik kesetimbangan dari sistem. Linierisasi pada sekitar titik kesetimbangan akan menjadi sebagai berikut:

$$J(\tilde{x}) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ \frac{-\frac{1}{2} m_2 g R_2 \cos(\theta_2) R_a}{R_a D_{eq}} & \frac{-K_b K_t}{R_a D_{eq}} \end{pmatrix} \tag{2.47}$$

Persamaan dari (2.47) merupakan matriks A dari model state-space  $\dot{x} = Ax + Bu$  dan  $y = Cx + Du$ . Cara yang sama bisa digunakan untuk menentukan matriks B, C dan D sehingga bisa diperoleh matriks sebagai berikut [1]:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ \frac{-\frac{1}{2} m_2 g R_2 \cos(\theta_2) R_a}{R_a D_{eq}} & \frac{-K_b K_t}{R_a D_{eq}} \end{pmatrix} \tag{2.48}$$

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencarutumkan dan menyebutkan sumber.  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencarutumkan dan menyebutkan sumber.

© Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
 UIN Suska Riau  
 State Islamic University of Sultan Alarif Kasim Riau



$$B = \begin{pmatrix} 0 \\ K_t \\ R_a D_{eq} \end{pmatrix} \tag{2.49}$$

$$C = (1 \ 0) \tag{2.50}$$

$$D = (0) \tag{2.51}$$

Tabel 2.1 Nilai-Nilai Parameter Dari Turret gun [1].

Parameter	Simbol	Nilai
Massa Gun	$m_2$	110 Kg
Panjang Gun	$R_2$	2.76 m
Transmisi 1	N1	16
Transmisi 2	N2	64
Transmisi 3	N3	1
Transmisi 4	N4	12.48
Voltage Constant Motor	$K_b$	85 V/Krpm
Torque Constant Motor	$K_t$	0.82 Nm/A
Armature Resistance	$R_a$	0.61 ohm
Momen Inersia Motor DC	$D_m$	0.01 Kg/m <sup>2</sup>
Gravitasi	G	9.8 m/s <sup>2</sup>

Diasumsikan posisi elevasi dan  $\dot{\theta}_2 = a_2 = 30^\circ$ . Setelah mensubstitusikan nilai-nilai dari parameter *turret gun* yang ada pada table 2.1 maka dapat menghasilkan matriks seperti [1]:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2467 & -0379 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0.004459 \end{bmatrix} E_a(t) \tag{2.52}$$

$$[y] = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \tag{2.53}$$

Maka didapatkan persamaan *steady state* untuk persamaan linier *turret gun* adalah:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2467 & -0.379 \end{bmatrix} \tag{2.54}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.004459 \end{bmatrix} \tag{2.55}$$

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

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

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengizinkan sumbernya.



$$C = [1 \quad 0] \tag{2.56}$$

$$D = [0] \tag{2.57}$$

Sehingga didapatkan persamaan transfer function:

$$G(s) = \frac{\theta s}{Us} \tag{2.58}$$

$$G(s) = \frac{0.004459}{s^2 + 0.379s + 2.467} \tag{2.59}$$

### 2.3 Logika fuzzy

Logika fuzzy ialah sebuah ilmu tentang mempelajari terhadap ketidakpastian. Pada logika fuzzy ini sanggup dalam memetakan sebuah ruang input kedalam ruang output dengan tepat. Didalam teori fuzzy ini juga diketahui dengan sebuah konsep sistem fuzzy yang digunakan pada proses memprediksi pada umumnya yang terdiri dari tahap, yaitu fuzzyfikasi, pembentukan rules basis, sistem inferensi atau penalaran fuzzy, dan defuzzyfikasi. Dari sistem logika fuzzy ini ada salah satu metode yang bisa digunakan dalam memprediksi yaitu metode sugeno. Metode ini mirip dengan metode mamdani, namun pada output (konsekuen) bukan termasuk dari himpunan fuzzy akan tetapi berupa konstanta atau persamaan linier.

### 2.4 Fuzzyfikasi

Fuzzyfikasi ialah pemetaan dari nilai *input* yang merupakan nilai tegas ke dalam fungsi dari keanggotaan himpunan *fuzzy*. Kemudian akan diolah pada saat di dalam mesin penalaran. Saat tahap ini maka ditentukan lah derajat keanggotaan *fuzzy* tersebut [17].

#### 2.4.1 Himpunan Fuzzy

Himpunan *fuzzy* merupakan sebuah grup yang mewakili dari suatu kondisi atau keadaan tertentu di dalam suatu variable *fuzzy* [17].

#### 2.4.2 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan (*membership function*) merupakan suatu kurva yang menunjukkan pemetaan dari titik *input* data ke dalam nilai keanggotaan nya yang sering disebut dengan derajat keanggotaan yang mana memiliki interval antara 0 sampai 1. Sebuah cara yang dapat digunakan agar mendapatkan nilai keanggotaan ialah dengan melalui pendekatan fungsi [17].berikut ada beberapa fungsi yang bisa digunakan yaitu [17]:

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

b. Penguatipan tidak merugikan kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

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

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

Hak Ujra

Hak Ujra

Hak Ujra

Hak Ujra

Hak Ujra

Hak Ujra

Hak Ujra

Hak Ujra

Hak Ujra

Hak Ujra

Hak Ujra

Hak Ujra

Hak Ujra

Hak Ujra

Hak Ujra

Hak Ujra

Hak Ujra

Hak Ujra

Hak Ujra

Hak Ujra

Hak Ujra

Hak Ujra

Hak Ujra

Hak Ujra

Hak Ujra

Hak Ujra

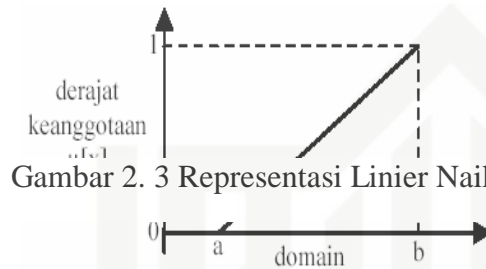




**1. Representasi Linier Naik**

Kenaikan himpunan ini akan dimulai pada saat nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan nol yang bergerak ke kanan menuju nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan yang lebih tinggi.

Fungsi keanggotaan:

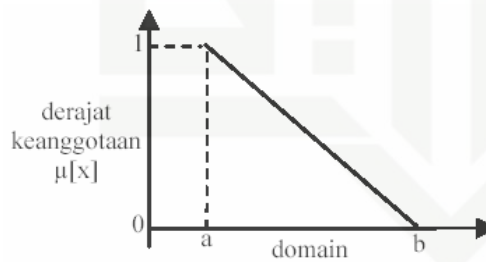


Gambar 2. 3 Representasi Linier Naik [16].

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ (x - a)/(b - a) & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases} \quad (2.60)$$

**2. Representasi Linier Turun**

Representasi linier turun adalah cara kebalikan dari representasi linier naik. Dimana garis lurus mulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan yang tertinggi pada sisi sebelah kiri. Selanjutnya akan bergerak menurun ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan yang lebih rendah.



Gambar 2. 4 Representasi Linier Turun [16]

Fungsi keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} (b - x)/(b - a); & a \leq x \leq b \\ 0 & x \geq b \end{cases} \quad (2.61)$$

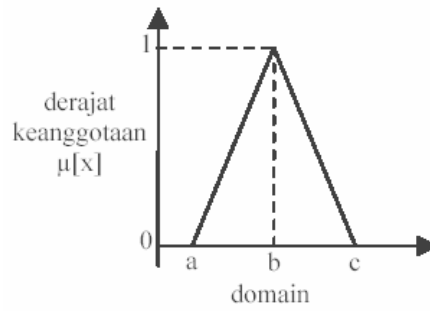
**3. Representasi Kurva Segitiga**

Kurva segitiga dasarnya adalah gabungan antara 2 garis linier.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
 2. Dilarang mengummumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



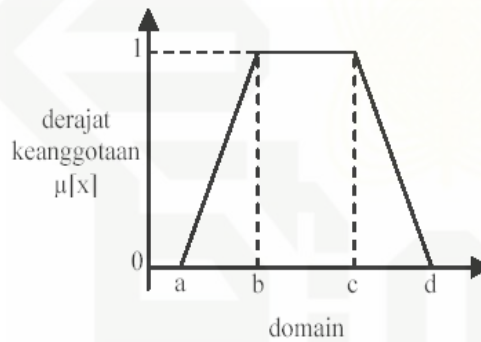
Gambar 2. 5 Representasi Kurva Segitiga [16]

Fungsi keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ (x - a)/(b - a) & a \leq x \leq b \\ (c - x)/(c - b) & b \leq x \leq c \end{cases} \quad (2.62)$$

**4. Representasi Kurva Trapezium**

Kurva trapezium pada dasarnya berbentuk seperti segitiga, namun hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai dari keanggotaan 1.



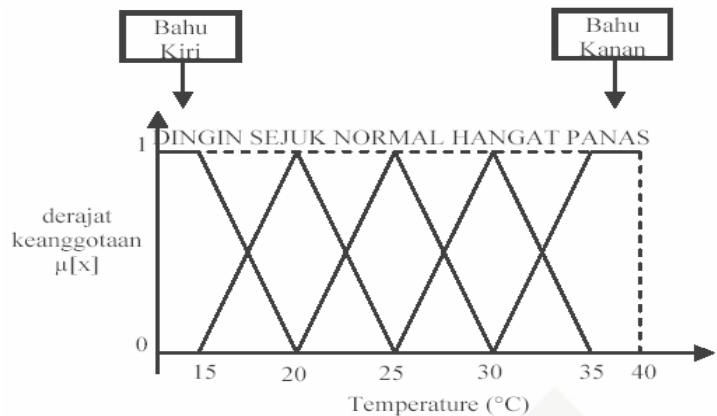
Gambar 2. 6 Representasi Kurva Trapezium [16]

Fungsi keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ (x - a)/(b - a); & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ (d - x)/(d - c) & c \leq x \leq d \end{cases} \quad (2.63)$$

**5. Representasi Kurva Bentuk Bahu**

Kurva bentuk bahu adalah daerah yang terletak di tengah dari suatu variable yang dipresentasikan dalam bentuk segitiga, dimana pada sisi kanan dan kiri nya akan naik dan turun.



Gambar 2. 7 Representasi Kurva Bentuk Bahu [16].

### 2.4.3 Sistem Inferensi Fuzzy

Dalam membangun sebuah sistem *fuzzy* dapat dikenal dengan beberapa metode penalaran yaitu metode Tsukamoto, metode Mamdani dan metode Sugeno [17].

#### 1. Metode Mamdani (Max-Min)

Metode mamdani biasa dikenal dengan nama metode *Max-Min*. dimana metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975 [17]. Pada metode ini merupakan metode yang bisa dikatakan paling sederhana dan paling sering digunakan dalam penelitian dibandingkan metode lain. *Input* dan *output* dalam metode mamdani ini berupa himpunan *fuzzy*. Pada proses *fuzzyfikasi* pada tahap awal adalah menentukan *variable fuzzy* dan himpunan *fuzzy*. Selanjutnya tentukan berapa derajat kesepadanan (*degree of match*) antara data sistem dari setiap aturan *fuzzy* tersebut.

#### 2. Metode Sugeno

Pada metode sugeno ini hampir sama dengan penalaran pada mamdani, namun *output* sistem tidak berupa himpunan *fuzzy*, tetapi dalam bentuk konstanta atau persamaan linear. Michio sugeno mengusulkan penggunaan *singleton* sebagai fungsi keanggotaan dari konsekuen. Singleton merupakan sebuah himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan dimana pada titik tertentu mempunyai sebuah nilai dan 0 di luar titik tersebut. Ada 2 model pada fuzzy sugeno ini yaitu sebagai berikut:

##### a. Model Fuzzy Orde-Nol

Secara umum bentuk dari model fuzzy sugeno orde Nol adalah:

$$IF(x_1 is A_1) \circ (x_2 is A_2) \circ (x_3 is A_3) \circ \dots \circ (x_n is A_n) THEN z = k \tag{2.64}$$



Dimana dengan  $A_i$  adalah himpunan fuzzy ke-I sebagai antesenden, dan  $k$  adalah suatu konstanta sebagai konsekuen.

b. Model Fuzzy Sugeno Orde-Satu

Pada secara umum bentuk dari model fuzzy sugeno orde-Satu adalah:

$$IF(x_1 is A_1) \circ (x_2 is A_2) \circ (x_3 is A_3) \circ \dots \circ (x_n is A_n) THEN z = p_1 * x_1 + \dots + p_n * x_n + q \tag{2.65}$$

Dengan  $A_i$  adalah himpunan fuzzy ke-I sebagai antesenden, dan  $p_i$  adalah suatu konstanta ke-i dan  $q$  juga merupakan konstanta dalam konsekuen. Berdasarkan dari model fuzzy tersebut, maka ada tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam implementasi metode sugeno yaitu sebagai berikut:

1. Pembentukan himpunan fuzzy

Pada tahapan ini variabel input dari sistem fuzzy ditransfer ke dalam himpunan fuzzy untuk dapat digunakan dalam perhitungan nilai kebenaran dari premis pada setiap aturan dalam basis pengetahuan. Dengan demikian pada tahap ini mengambil nilai-nilai tegas dan menentukan derajat dimana nilai-nilai tersebut akan menjadi anggota dari setiap himpunan fuzzy yang sesuai.

2. Aplikasi fungsi aplikasi

Pada tiap-tiap aturan basis pengetahuan fuzzy akan berhubungan dengan suatu relasi fuzzy. Bentuk umum nya dari aturan yang digunakan dalam fungsi aplikasi adalah sebagai berikut: IF  $x$  is  $A$  THEN  $y$  is  $B$  dengan  $x$  dan  $y$  adalah scalar, dimana  $A$  dan  $B$  adalah himpunan fuzzy. Proposisi yang mengikuti IF disebut sebagai antesenden sedangkan proposisi yang mengikuti THEN disebut kensekuen. Pada proposisi ini dapat diperluas dengan operator fuzzy seperti:  $IF(x_1 is A_1) \circ (x_2 is A_2) \circ (x_3 is A_3) \circ \dots \circ (x_n is A_n) THEN y is B$  dengan  $\circ$  adalah operator (misal : OR atau AND). Dimana pada secara umum fungsi aplikasi yang dapat digunakan yaitu sebagai berikut:

- Min (minimum) fungsi ini akan memotong output himpunan fuzzy.
- Dot (product) fungsi ini akan menskala output himpunan fuzzy.

**2.3.4 Rules**

Pada rules (komposisi aturan) ini tidak seperti biasa nya yang memakai penalaran monoton. Dimana jika sistem terdiri dari beberapa aturan maka akan diperoleh inferensi

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



dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Dalam melakukan inferensi sistem *fuzzy* dapat dilakukan dengan 3 metode yaitu: max, additive dan probabilistic OR [17].

### 2.3.5 Defuzzyfikasi (penegasan)

Defuzzyfikasi merupakan *input* proses suatu himpunan *fuzzy* yang didapatkan dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*. Kemudian untuk aturan fuzzy ini digunakan aturan IFTHEN fuzzy yang mana dalam persamaan berikut [8]:

$$RU(k) = \text{if } x_1 \text{ is } A_{1k} \text{ and ... and } x_n \text{ is } A_{nk} \text{ THEN } y \text{ is } B_k \tag{2.66}$$

Dimana  $A_{1k}$  dan  $B_k$  berturut-turut adalah himpunan dari fuzzy didalam  $U_i R$  (Udan V adalah domain fisik), kemudian  $i = 1,2,\dots, n$  dan  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  selanjutnya U dan y V berturut-turut adalah variabel input dan output (*linguistic*) dari sistem fuzzy. Defuzzyfikasi pada persamaan tadi bisa didefinisikan sebagai suatu pemetaan dari himpunan fuzzy B ke dalam V R (yang merupakan output dari inferensi fuzzy) ke titik tegas  $y * V$ . Berikut nya pada metode sugeno defuzzyfikasi dapat dilakukan dengan perhitungan *weight average*

(WA):

$$WA = \frac{a_1z_1 + a_2z_2 + a_3z_3 + \dots + a_nz_n}{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n} \tag{2.67}$$

Keterangan:

WA = nilai rata-rata

$a_n$  = nilai predikat aturan ke- $n$

$z_n$  = indeks nilai output (konstanta) ke- $n$

### 2.5 Metode Heuristik

Metode heuristik adalah suatu aturan metode untuk menyelesaikan masalah secara penalaan. Rancangan metode heuristic ini diperoleh dengan cara perubahan parameter yang disesuaikan dengan kinerja *plant* yang akan dikendalikan. Untuk perancangan sistem pengendalian PD dilakukan pencarian nilai besarnya  $K_p$  dan  $K_d$  dengan melakukan beberapa tahap yaitu dimana penalaan parameter pengendali dimulai dengan hanya menggunakan pengendali P dan ditambahkan dengan pengendali D. Pemberian nilai parameter disesuaikan dengan karakteristik respon sistem yang diperoleh[18].

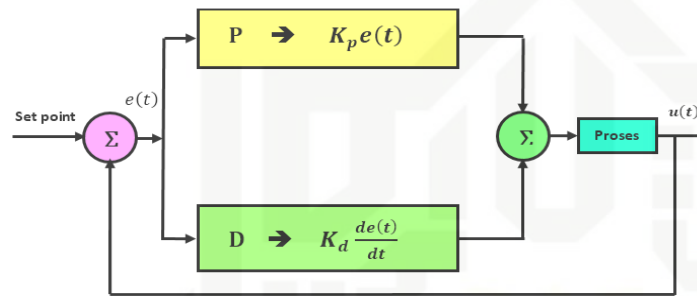
2. Dilarang mengummumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.  
 b. Penguatipan tidak merugikan kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 a. Penguatipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 1. Dilarang mengump sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

©Halal ci a n i k U N S u s k a R i a u  
 ©Stie Isam U i v e r s i t y f e l d i n y a r i f K a s i m R i a u  
 H a n g d i l i n d u n g U r u n g - d a n g  
 C i p t a d i l i n d u n g U r u n g - d a n g



## 2.6 Proporsional Derivatif (PD)

Pada dunia industri dan militer, sistem *control* sangat berpengaruh dalam kinerja sistem. Sistem *control* yang umum digunakan adalah sistem *control Proportional, Integral, dan Derivatif*. Sistem *control* ini dapat berjalan secara bersamaan maupun berjalan terpisah. Masing-masing sistem *control* ini memiliki keunggulan tertentu, di mana, *control Proportional* unggul dalam *rise time* yang cepat, *control Integral* unggul dalam memperkecil kesalahan, serta *control Derivatif* mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error* atau mengurangi *overshoot/undershoot* [19].



Gambar 2. 8 Blok Diagram *Control* PD [19].

Gambar 2.8 merupakan blok diagram *control* PD yang umum digunakan di industri.

*Control* (P), dan *Derivatif* (D) dapat digunakan bersamaan secara paralel ataupun digunakan terpisah dengan tidak menggunakan salah satu komponen P, atau D. Parameter pengontrol *Proportional Derivatif* (PD) selalu berdasarkan tinjauan terhadap karakteristik dari sistem yang diatur (*plant*). Dengan demikian, parameter PD dapat dicari setelah perilaku *plant* diketahui, serumit apapun *plant* tersebut.

Persamaan matematis dari *control* PD adalah sebagai berikut, di mana  $u(t)$  merupakan nilai *output* :

$$u(t) = K_p + K_d \frac{d}{dt} e(t) \tag{2.68}$$

Dengan keterangan:

$K_p$   $\equiv$  *Proportional Gain*

$K_d$   $\equiv$  *Derivative Gain*

$e$   $\equiv$  error (*Setpoint* – Parameter Value)

$t$  = waktu (second)

$\tau$  = variabel dari integrasi

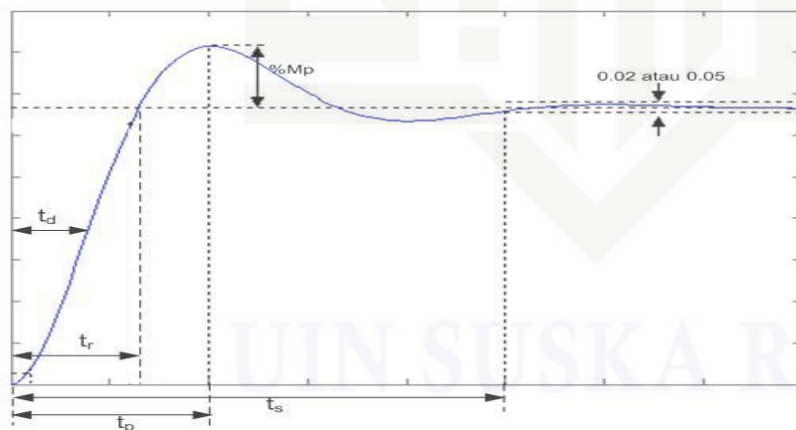
Karakteristik pengontrol PD sangat dipengaruhi oleh besar dari kedua parameter P dan D. Efek dari setiap pengontrol proporsional, dan *Derivatif* pada sistem *loop* tertutup disimpulkan dalam tabel berikut:

Tabel 2.2 Pengaruh Terhadap Parameter PID[20]

Respon loop tertutup	Waktu naik	Overshoot	Waktu turun	Kestabilan
$K_p$	Menurun	Meningkat	Perubahan kecil	Menurun
$K_d$	Perubahan kecil	Menurun	Menurun	Perubahan kecil

## 2.7 Identifikasi Sistem Orde 2

Metode ini mengidentifikasi sistem berdasarkan pengamatan grafis terhadap masukan step. Dimana sinyal uji diberikan pada sistem untuk mengetahui respon sistem *open loop* maupun *close loop*. Dari respon sistem, dapat diketahui karakteristik-karakteristik penting dari sistem. Sistem yang digunakan untuk pengendalian sumbu Elevasi pada *Turret-gun* merupakan sistem orde 2 yang ditujukan pada gambar 2.9 berikut



Gambar 2. 9 Respon Sistem Orde 2[19].

1. Waktu tunda ( $t_d$ )

Waktu tunda adalah waktu yang diperlukan oleh tanggapan untuk mencapai setengah nilai akhir untuk waktu yang pertama.



2. Waktu naik ( $t_r$ )

Waktu naik adalah waktu yang diperlukan oleh tanggapan untuk naik dari 10% menjadi 90%, 5% menjadi 95%, atau 0 menjadi 100% dari nilai akhir yang biasa digunakan.

3. Waktu puncak ( $t_p$ )

Waktu puncak adalah waktu yang diperlukan tanggapan untuk mencapai puncak pertama *overshoot*.

4. *Overshoot* maksimum ( $M_p$ )

*Overshoot* maksimum adalah nilai puncak kurva tanggapan diukur dari satuan. Apabila nilai akhir keadaan tunak tanggapannya jauh dari satu, maka biasanya digunakan persen *overshoot* maksimum dan didefinisikan oleh.

$$M_p = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} 100\%$$

(2.69)

5. Waktu tunak ( $t_s$ )

Waktu tunak adalah waktu yang diperlukan untuk menanggapi kurva agar dapat mencapai dan tetap berada dalam gugus nilai akhir ukuran yang disederhanakan dengan presentase mutlak harga akhirnya (biasanya 2% atau 5%) waktu tunak tadi dihubungkan dengan sebesar sistem kendali.

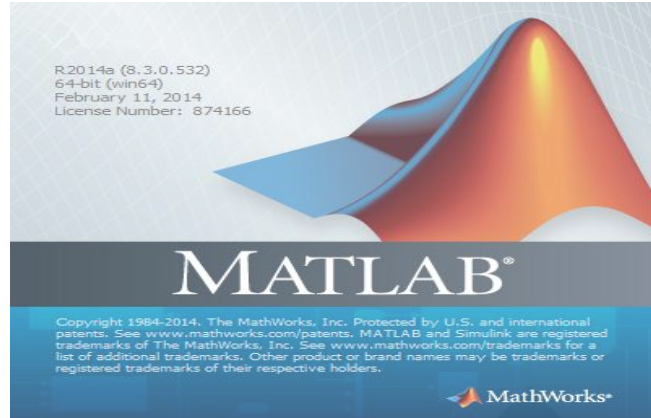
## 2.8 Matrix Laboratory (MATLAB)

Matlab merupakan singkatan dari Matrix Laboratory yang berarti bahasa pemrograman level tinggi (semakin tinggi level bahasa pemrograman maka semakin mudah cara menggunakannya) dengan kinerja tinggi untuk komputasi masalah teknik. Matlab mengintegrasikan komputasi, visualisasi, dan pemrograman dalam sebuah lingkungan tunggal. Matlab memberikan sistem interaktif yang menggunakan konsep *array/matrix* sebagai variabel elemennya tanpa membutuhkan pendek *larasian array* [20].



#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



Gambar 2. 10 Tampilan Matlab [21].

Matlab dikembangkan oleh Mathwork pada tahun 1970. Aplikasi Matlab itu sendiri banyak digunakan dalam bidang yang membutuhkan perhitungan matematika yang rumit, dimana seluruh operasi perhitungan dalam Matlab berupa operasi matrik. Matlab dapat menampilkan hasil perhitungan dalam bentuk plot grafik dan dapat juga dirancang menggunakan GUI (Graphical User Interface) yang kita rancang. Pada software Matlab terdapat beberapa bagian penting yang digunakan dalam menjalankan program yaitu:

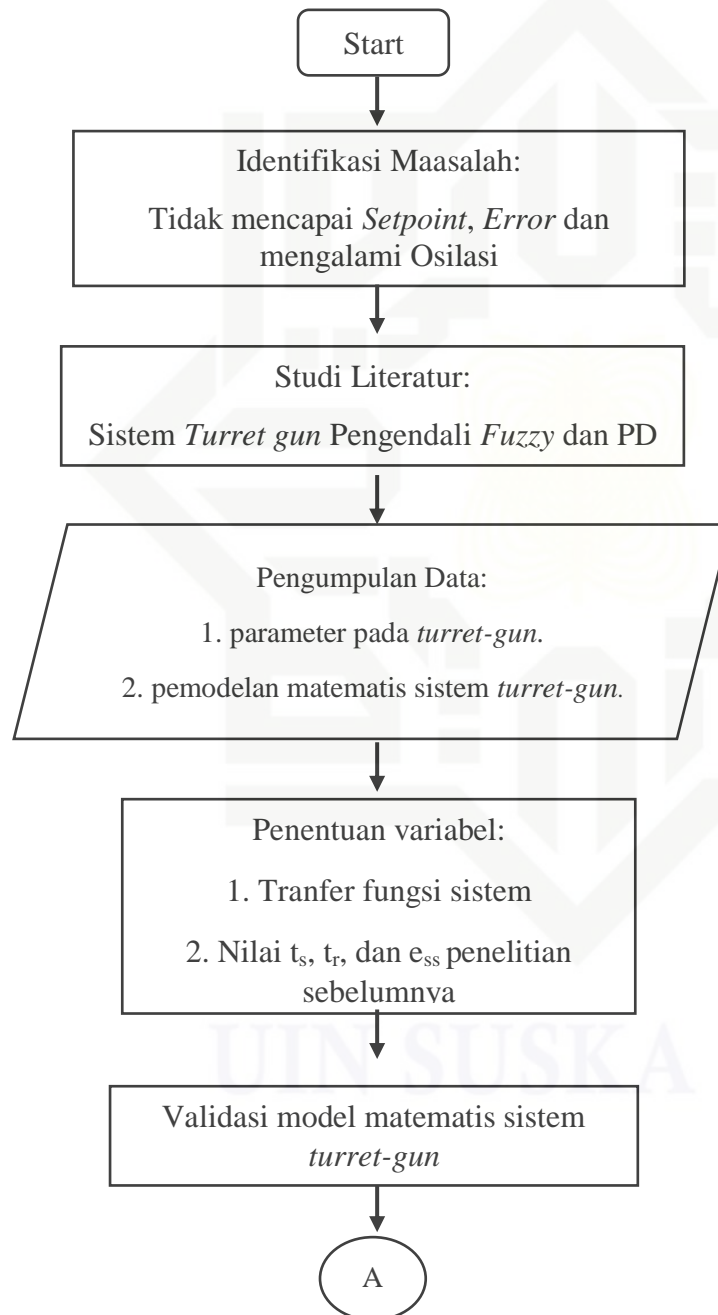
1. *Command window* digunakan untuk mengetik fungsi yang diinginkan.
2. *Command history* berfungsi agar fungsi yang telah digunakan sebelumnya dapat digunakan kembali.
3. *Workspace* digunakan untuk membuat variabel yang ada dalam Matlab.

Simulink-Matlab Simulink adalah sebuah kumpulan aplikasi dalam Matlab untuk melakukan modeling, simulasi, dan untuk melakukan analisis dinamik pada suatu sistem. Program simulink memudahkan user untuk membuat suatu simulasi lebih interaktif. Tiruan sistem diharapkan mempunyai perilaku yang sangat mirip dengan sistem fisik. Jika digunakan dengan benar, simulasi akan membantu proses analisis dan desain sistem [20].

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Proses Alur Penelitian

Dalam penelitian ini ada beberapa langkah-langkah yang penulis lakukan dalam proses perancangan pengendali menggunakan metode *FUZZY-PD*. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut :



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak Cipta dilindungi UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

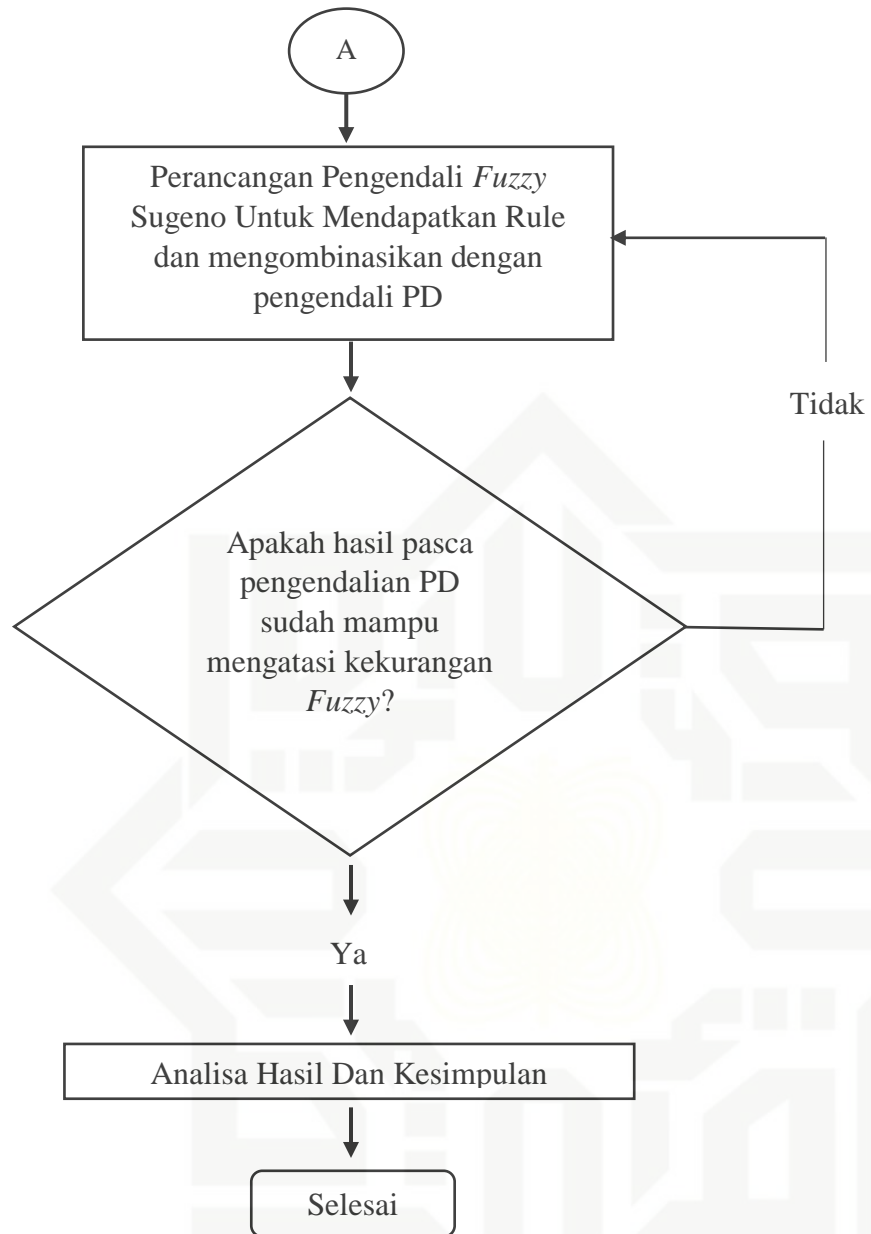
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



Gambar 3. 1 Flow Chart Penelitian

Agar tujuan penulis dalam melakukan penelitian dapat tercapai, maka dalam



penelitian ini sangat dibutuhkan perumusan masalah, kemudian penentuan judul serta mencapai tujuan yang diharapkan dari suatu penelitian. Oleh sebab itu, ada beberapa tahapan rencana yang harus dilakukan yaitu:

1. Identifikasi Masalah

Sebelum melakukan penelitian, maka terlebih dahulu dilakukan identifikasi masalah yaitu mencari apa masalah yang akan diangkat untuk penelitian Tugas Akhir. Kemudian masalah yang akan diangkat pada Tugas Akhir ini apakah bisa mengoptimalkan pengendali fuzzy sugeno dengan menambahkan pengendali PD. Selanjutnya apakah pengendali bisa optimal pada sumbu elevasi *Turret-gun* dapat meminimalisis terjadinya overshoot, dan osilasi yang berlebihan.

2. Studi Literatur

Disini penulis melakukan *review* dan mempelajari referensi yang berkaitan dengan judul penelitian ini, mengenai sistem *turret gun* dan perancangan pengendali *Fuzzy* dan *PD*.

3. Pengumpulan Data Pra Desain

Tujuan dari pengumpulan data pra desain adalah untuk mengetahui karakteristik sistem yang akan diteliti, dan transfer fungsi sistem yaitu:

$$G = \frac{c}{s^2+sa+b} \tag{3.1}$$

4. Penentuan Variable

Data- data yang didapatkan dari pengumpulan data pra design yang diubah dalam bentuk model matematis dengan persamaan transfer fungsi sebagai berikut:

$$TF = \frac{0.004459}{s^2+0.379s+2.467} \tag{3.2}$$

5. Validasi Dan Pengujian Model Matematis *Turret gun*

Tahapan ini adalah pengujian model mamtematis plant dalam bentuk transfer fungsi dari sistem *turret gun* yang diubah kedalam bahasa program matlab Simulink untuk menyesuaikan hasil keluaran dari sistem dengan referensi yang digunakan.

6. Hasil validasi dan pengujian model matematis *turret gun*

1. Diwajibkan mengisi dan menyerahkan karya tulis ini tanpa menandatangani dan menyebutkan sumber.  
 2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.



Tahapan ini akan melihat hasil keluaran dari sistem yang sama dengan hasil keluaran dari referensi yang digunakan.

#### 7. Desain pengendali *fuzzy* sugeno

Pada tahapan ini penulis merancang pengendali *fuzzy* sugeno untuk mendapatkan nilai *rules*.

#### 8. Analisa hasil pengendali *fuzzy*

Pada tahapan ini pengendali *fuzzy* sugeno yang telah dirancang di simulasikan untuk mengetahui respon dari sistem menggunakan pengendali *fuzzy* sugeno.

#### 9. Desain pengendali *fuzzy* sugeno-PD

Selanjutnya pada tahapan ini penulis akan merancang pengendali *fuzzy* sugeno yang akan dikombinasikan dengan pengendalian PD sampai mendapatkan hasil *output* yang diharapkan.

#### 10. Analisa hasil pasca desain

Ditahapan ini penulis melakukan analisa terhadap hasil yang didapat dari pengujian turet yang sudah dipasangkan pengendali *fuzzy* sugeno-PD. Kemudian untuk pemeriksaan hasil keluaran respon apakah sudah optimal atau belum? Selanjut nya keluaran respon yang sudah optimal bisa diketahui dari beberapa hal berikut ini: pencapaian set point yang diinginkan, settling time ( $t_s$ ) yang cepat, kemudian waktu naik atau rise time ( $t_r$ ) yang cepat, waktu tunda atau delay time ( $t_d$ ), waktu puncak ( $t_p$ ), dan tidak adanya overshoot.

#### 11. hasil desain dan kesimpulan

Tahapan ini akan menyesuaikan antara hasil desain dengan tujuan yang akan dicapai. Jika tujuan dari penelitian ini telah terpenuhi maka penelitian dapat dinyatakan berhasil. Akan tetapi jika hasil dari penelitian ini belum mencapai tujuan yang diinginkan maka perlu dilakukan pemeriksaan kembali terhadap perancangan pengendali. Kemudian setelah masalah dapat diselesaikan dan tujuan awal dari penelitian ini telah sesuai dengan yang diinginkan maka penulis dapat ditarik kesimpulan dari penelitian ini.



### 3.2 Pengumpulan Data

Dalam perancangan pengendali *fuzzy* sugeno dan *fuzzy* sugeno-PD persamaan yang digunakan adalah persamaan *state space* dari transfer fungsi sistem *Turret-gun*, dengan nilai set point 30°, model matematis sistem *Turret-gun* serta nilai rules.

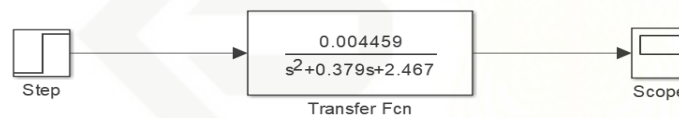
### 3.3 Penentuan Variabel

Data-data yang didapat dibuat dalam bentuk model matematis sistem dalam bentuk transfer fungsi yaitu:

$$G(s) = \frac{0.004459}{s^2 + 0.379s + 2.467} \tag{3.3}$$

### 3.4 Validasi Model Matematis

Validasi model matematis bisa dilihat pada gambar 3.2 yang merupakan blok simulink pengujian sistem turret-gun secara open loop. Dimana tanpa menggunakan pengendali untuk mengetahui perilaku dan karakteristik dari sistem sebelum dirancang dengan menambahkan pengendali.



Gambar 3. 2 Blok Simulasi Turret gun Secara Open loop.

### 3.5 Perancangan Pengendali *Fuzzy*

Desain logika *fuzzy* pada penelitian ini penulis akan menggunakan metode sugeno dengan 25 *rules*. Adapun tahapan dalam mendesain suatu kendali *fuzzy* sebagai berikut:

#### 1. *Fuzzyfikasi*

pada desain kendali yang ada pada tugas akhir ini yang menjadi masukan dari kendali logika *fuzzy* ialah *error* dan *delta error*. Dimana nilai *error* pada penelitian ini didapatkan dari set point dikurangi dengan nilai *output* dari plant *turret gun* yang sudah di *open loop* kan. Berikut persamaan untuk mencari *error* dan *delta error*:

$$error = SP - PV \tag{3.4}$$

Ket:

SP (set point) = masukan nilai yang diinginkan

PV (present value) = nilai actual / nilai respon *steady state* saat ini

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

$$\text{delta error} = \text{Error}(n) - \text{Error}(n - 1) \quad (3.5)$$

Ket:

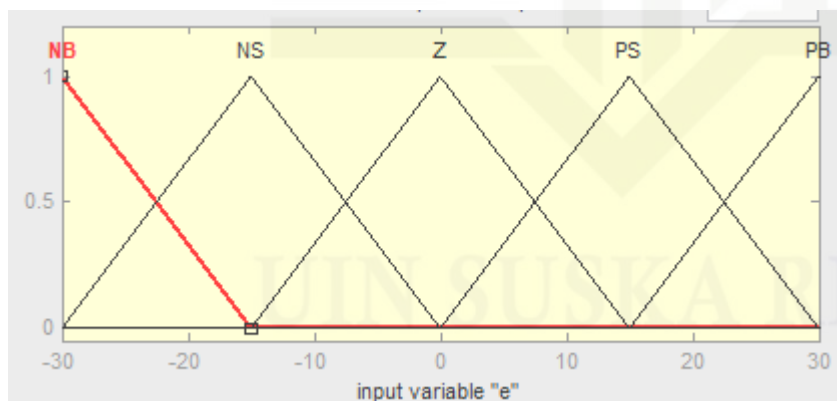
$\text{Error}(n)$  = error saat ini

$\text{Error}(n-1)$  = error sebelumnya

*Error* dalam penelitian ini adalah *error* pada *turret gun* yang terjadi sebelum didapatkan *output* yang keluar dari kendali *fuzzy*. *Delta error* merupakan *error* yang sekarang dengan *error* sebelumnya. Pada tahap ini dimana *error* dan *delta error* dipetakan kedalam fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy*. Yang selanjutnya menghasilkan himpunan *fuzzy* dengan keanggotaan bentuk kurva segitiga (triangle). Pada himpunan *fuzzy* ini memiliki dua variabel masukan (*input*) dan satu variabel keluaran (*output*). Keluaran dari logika *fuzzy* ini adalah aksi dari masukan U yang merupakan perubahan sinyal kendali. Langkah selanjutnya yang akan dilakukan penulis adalah menentukan fungsi keanggotaan (*membership function*).

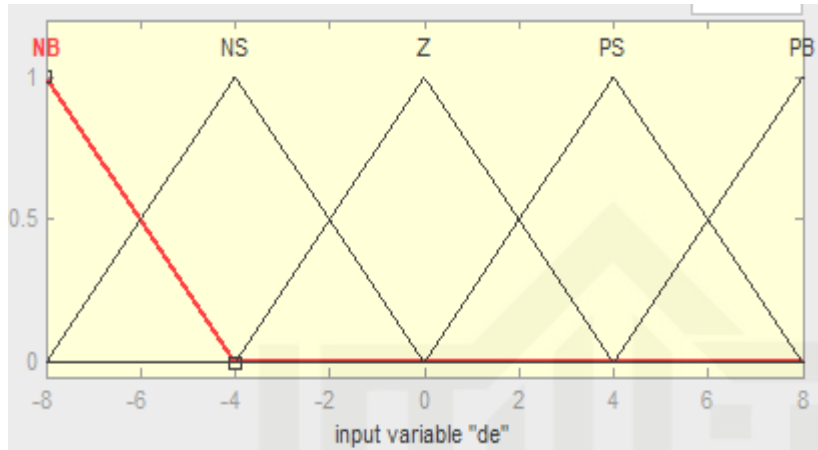
## 2. Fungsi Keanggotaan *Input* Dan *Output*

*Setpoint* dari elevasi *turret gun* yang diinginkan adalah 30°. Untuk menentukan variabel *input* berupa *error* maka dapat ditentukan dengan kondisi *error* bernilai negatif jika sudut elevasi melewati set point dan bernilai positif jika sudut elevasi kurang dari set point. Range (jangkauan) yang terjadi dari fungsi keanggotaan *error* sebesar -30 sampai 30 derajat. Nilai linguistik dari fungsi keanggotaan bisa di definisikan dengan huruf NB, NS, Z, PS, PB. Dapat dilihat pada gambar berikut.



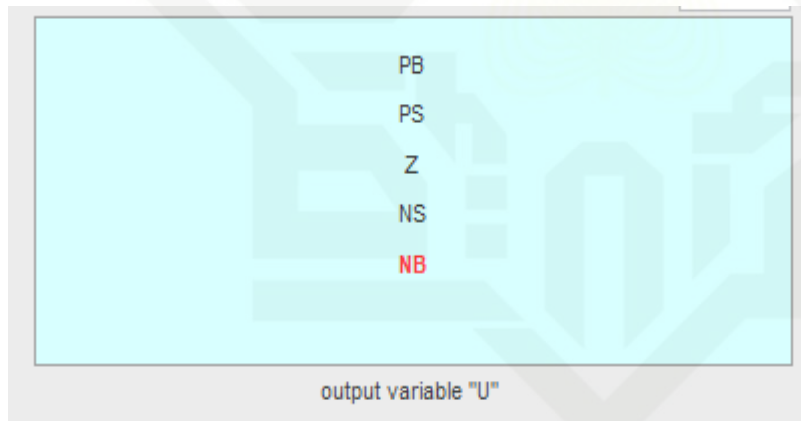
Gambar 3. 3 Fungsi Keanggotaan Input Error

Untuk range (jangkauan) dari fungsi keanggotaan *delta error* juga sebesar -8 sampai 8 derajat. Dan nilai linguistic dari fungsi keanggotaan bisa didefinisikan dengan huruf NB, NS, Z, PS, PB.



Gambar 3. 4 Fungsi Keanggotaan Input Delta Error

Pemilihan range (jangkauan) dari fungsi keanggotaan keluaran yang besarnya 0 sampai 33.196. Nilai linguistic dari fungsi keanggotaan bisa didefinisikan dengan NB, NS, Z, PS, PB. Fungsi keanggotaan *output* seperti gambar berikut.



Gambar 3. 5 Fungsi Keanggotaan Output

### 3. Basis Aturan (Rulebase) Logika Fuzzy

Perancangan rulebase diperlukan pada kendali logika *fuzzy* agar dapat bekerja terhadap plant. Berdasarkan fungsi dari keanggotaan variabel *input error* dan *delta error* serta keluaran berupa sudut elevasi. Maka dari itu akan didapatkan 25 rulebase yang bisa disusun berdasarkan table mark vicar Whelan. Basis aturan mark vicar Whelan dapat ditunjukkan pada table berikut.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

Tabel 3. 1 Rules Base Pengendali Fuzzy

E ΔE	NB	NS	Z	PS	PB
NB	NB	NB	NS	NS	Z
NS	NB	NS	NS	Z	PS
Z	NS	NS	Z	PS	PS
PS	NS	Z	PS	PS	PB
PB	Z	PS	PS	PB	PB

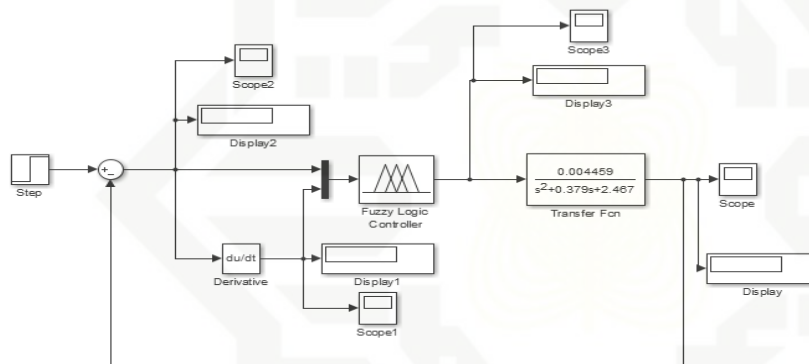
Dari rulebase seperti pada Tabel 3.1 maka penulis dapat menyusun rules sebagai berikut:

1. *If (Error is NB) and (Delta Error is NB) then (Output is NB)*
2. *If (Error is NB) and (Delta Error is NS) then (Output is NB)*
3. *If (Error is NB) and (Delta Error is Z) then (Output is NS)*
4. *If (Error is NB) and (Delta Error is PS) then (Output is NS)*
5. *If (Error is NB) and (Delta Error is PB) then (Output is Z)*
6. *If (Error is NS) and (Delta Error is NB) then (Output is NB)*
7. *If (Error is NS) and (Delta Error is NS) then (Output is NS)*
8. *If (Error is NS) and (Delta Error is Z) then (Output is NS)*
9. *If (Error is NS) and (Delta Error is PS) then (Output is Z)*
10. *If (Error is NS) and (Delta Error is PB) then (Output is PS)*
11. *If (Error is Z) and (Delta Error is NB) then (Output is NS)*
12. *If (Error is Z) and (Delta Error is NS) then (Output is NS)*
13. *If (Error is Z) and (Delta Error is Z) then (Output is Z)*
14. *If (Error is Z) and (Delta Error is PS) then (Output is PS)*
15. *If (Error is Z) and (Delta Error is PB) then (Output is PS)*
16. *If (Error is PS) and (Delta Error is NB) then (Output is NS)*
17. *If (Error is PS) and (Delta Error is NS) then (Output is Z)*
18. *If (Error is PS) and (Delta Error is Z) then (Output is PS)*



19. *If (Error is PS) and (Delta Error is PS) then (Output is PS)*
20. *If (Error is PS) and (Delta Error is PB) then (Output is PB)*
21. *If (Error is PB) and (Delta Error is NB) then (Output is Z)*
22. *If (Error is PB) and (Delta Error is NS) then (Output is PS)*
23. *If (Error is PB) and (Delta Error is Z) then (Output is PS)*
24. *If (Error is PB) and (Delta Error is PS) then (Output is PB)*
25. *If (Error is PB) and (Delta Error is PB) then (Output is PB)*

Perancangan kendali logika *fuzzy* di tugas akhir ini penulis menggunakan metode *fuzzy* sugeno. Proses defuzzyfikasi pengendali ini menggunakan metode centroid. Tahapan perancangan kendali logika *fuzzy* akan di implementasikan kedalam blok Simulink *fuzzy logic controller* pada sistem *turret gun* pada gambar berikut:



Gambar 3. 6 Diagram Sistem Turret gun Dengan Pengendali Fuzzy.

### 3.6 Perancangan Pengendali *Proportional Derivative* (PD)

Berdasarkan dari studi literatur yang sudah ditentukan maka desain pengendali PD dapat dibuat dengan bentuk Simulink yang terdapat pada gambar 3.7. Dengan cara memasukkan nilai transfer function yang diperoleh dari sistem *turret gun* sumbu elevasi yang dikondisikan dengan *setpoint* 30. Dimana set point ini akan dimasukkan kedalam blok desain pengendali PD. Penentuan nilai konstanta  $K_p$  dan  $K_d$  diperoleh dengan metode *heuristic*.

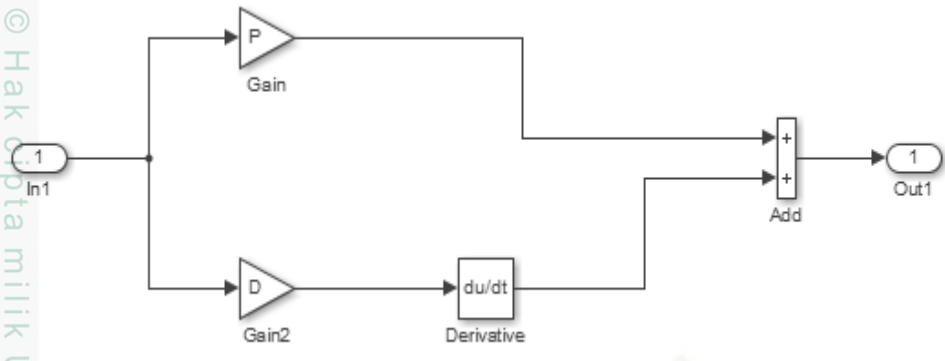
$$u(t) = K_p e(t) + K_d \frac{de}{dt} \tag{3.6}$$

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

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

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

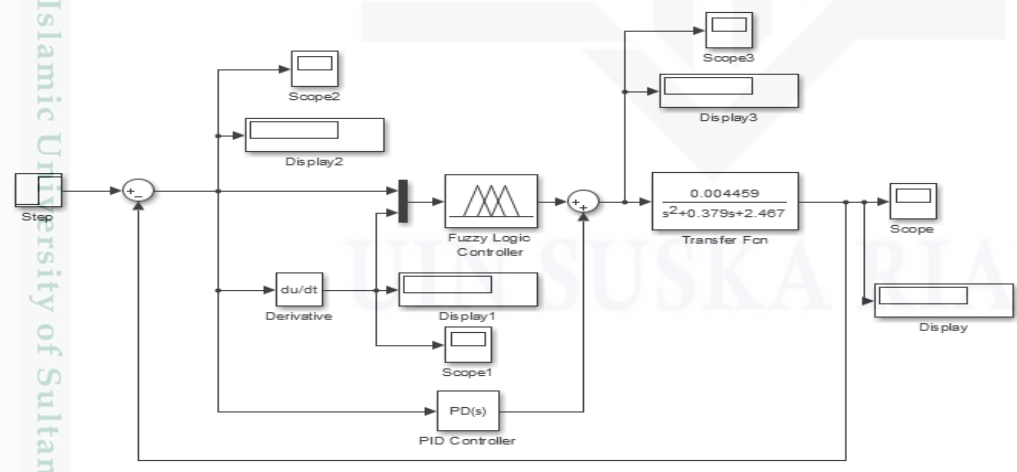


Gambar 3. 7 Blok Pengendali PID

Pada gambar 3.7 adalah bentuk umum pada pemodelan kendali PD yang pada persamaan 3.6 dirubah menjadi blok-blok menggunakan *simulink matlab*. Kemudian blok pengendali ini dimasukkan kedalam subsistem kendali PD yang akan digunakan dalam mengendalikan sumbu elevasi pada sistem *turret-gun*.

**3.7 Desain pengendali fuzzy sugeno dan PD**

Setelah penulis mendapatkan dan mempelajari desain pengendali *fuzzy sugeno* dan desain pengendali PD, maka bisa dikombinasikan antara pengendali *fuzzy sugeno* dengan pengendali PD agar kinerja nya mendali lebih baik dan optimal. Dimana akan dioptimalkan pada respon waktu yang cepat, memperkecil overshoot, dan *error steady state* yang kecil dan tidak terjadi osilasi. kemudian perancangan kendali *fuzzy sugeno*-PD bisa lihat pada gambar blok diagram berikut:



Gambar 3. 8 Diagram Blok Sistem Turret Gun Dengan Fuzzy Sugeno-PD



### 3.8 Penelitian Selanjutnya

Adapun dari hasil initial result maka di dapatkan hasil yang baik dimana dapat mengatasi overshoot yang besar dan bisa mencapai *setpoint* dengan cepat. Maka pada penelitian yang akan dikerjakan pada bab selanjutnya yaitu merancang pengendali fuzzy sugeno yang di *hybrid* dengan kendali PD untuk mencapai *setpoin* lebih cepat dan lebih baik lagi.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil simulasi dan analisa yang dilakukan pada sumbu elevasi turret gun, maka dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan pengendali fuzzy sugeno-PD pada sumbu elevasi turret gun mampu mencapai set point yang diberikan yaitu sebesar 30 derajat dan 55 derajat. Kemudian pengendali fuzzy sugeno-PD mampu mempercepat respon waktu *delay time*, *rise time*, *settling time* bahkan saat diberikan setpoint yang lebih besar. Ini dibuktikan dari hasil respon waktu pada setpoint 30 derajat nilai dari *delay time* = 0.4401 detik, *rise time* = 0.7112 detik, *settling time* = 1.0482 detik, sedangkan pada hasil setpoint 55 derajat mampu memperoleh hasil *delay time* = 0.0354 detik, *rise time* = 0.1102 detik, dan *settling time* = 0.1952 detik. Namun pada pengendali fuzzy sugeno-PD tidak mampu memperkecil maximum overshoot pada saat diberikan nilai setpoint yang lebih besar. Adapun ini dibuktikan pada hasil setpoint 30 derajat yang mampu mendapatkan nilai maximum overshoot sebesar 0.015% dan pada setpoint 55 derajat di angka 0.045%.

### 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti menggunakan pengendali fuzzy sugeno-PD. Dimana untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan pengendali lainnya. Penelitian ini menggunakan metode heruistik pada pengendali PD yang dapat memakan waktu saat dalam proses tunnig. Sehingga pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode lainnya agar respon yang dihasilkan dapat lebih baik lagi.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## DAFTAR PUSTAKA

- [11] D. Kunto, A. Wahyudi, and H. Nurhadi, "Perancangan Sistem *Control* PID untuk Pengendali Sumbu Elevasi Gun pada Turret- gun Kaliber 20 Milimeter," vol. 5, no. 2, p. 7, 2016.
- [12] S.karim, "Peralatan militer," 2016.
- [13] M. N. Tamara, "Simulasi Dan Eksperimen *Control* Automatic Turret Gun," *J. ELTEK*, pp. 1–13, 2018.
- [14] D. W. Wardhana, A. Wahyudi, and H. Nurhadi, "Perancangan Sistem *Control* PID Untuk Pengendali Sumbu Azimuth Turret Pada Turret-Gun Kaliber 20mm," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 512–516, 2016.
- [15] S. Mushonnifah, "RAC dan AFC pada sistem turret gun kaliber 20 milimeter.pdf." .
- [16] wahidil putra Ashar, "PERANCANGAN KENDALI LQR-PD UNTUK PENGENDALIAN SUMBU ELEVASI GUN PADA TURRET-GUN KALIBER 20 MILIMETER," 2020.
- [7] achmad bayu Pradana and puput wanarti R, "SISTEM PENGATURAN SUMBU ELEVASI GUN PADA TURRET – GUN MENGGUNAKAN *CONTROLLER* PI," 2016.
- [8] D. L. Rahakbauw, "Penerapan Logika Fuzzy Metode Sugeno Berdasarkan Data Persediaan Dan Jumlah Permintaan ( Studi Kasus : Pabrik Roti Sarinda Ambon ) Application of Fuzzy Logic Method Sugeno To Determine the Total Production of Bread ," *J. Tek. Inform. dan Sist. Inf.*, vol. 9, pp. 121–134, 2015.
- [9] I. Nawawi and B. Fatkhurrozi, "Studi Komparasikendali Motor Dc Dengan Logika Fuzzy Metode Mamdani Dan Sugeno," pp. 35–44.
- [10] R. A. Ardiansyah, "Perancangan dan Pengujian Sistem Pengendali Sudut untuk Motor DC Brushless Menggunakan Kendali Algoritma P-D," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 13, no. 2, p. 82, 2017.
- [11] alham andri Nasution, "Halaman\_Judul\_2.pdf," 2015.
- [12] E. Rijanto and T. Lusijarto, "Rancang Bangun Pengendali Suhu Tipe PD dan PI Berbasis Logika Fuzzy Memakai Mikrocontroller Atmega 8535 Beserta Perbandingan Kinerja Hasil Eksperimen," pp. 67–72, 2008.
- [13] E. S. Bukardi and W. S. Pambudi, "Perancangan dan pembuatan Semi Automatic T-Shirt Folding Machine Menggunakan Metode Fuzzy *Proportional Derivative*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



(FPD),” *J. Sains dan Teknol.*, vol. 1, no. 1, pp. 34–44, 2015.

- [14] T. Moh. Nasyir, B. Pramujati, H. Nurhadi, and E. Pitowarno, “Control simulation of an Automatic Turret Gun based on force control method,” *Proc. 2014 Int. Conf. Intell. Auton. Agents, Networks Syst. Ina. 2014*, pp. 13–18, 2015.
- [15] Y. Ling and G. Tao, “Numerical design and analysis of backlash compensation for a multivariable nonlinear tracking system,” *Proc. Am. Control Conf.*, vol. 5, no. June, pp. 3539–3543, 1999.
- [16] N. Nise, *Apago PDF Enhancer A ntenna A zimuth P osition C ontrol S ystem*. 2011.
- [17] Kusumadewi. Sri dan Purnomo. Heri, “Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan.” 2013.
- [18] A. Fitriansyah, “Analisis Penalaan *Control* PID pada Simulasi Kendali Kecepatan Putaran Motor DC Berbeban menggunakan Metode Heuristik,” vol. 1, no. 2, pp. 79–92, 2013.
- [19] K. J. Astrom and T. Hägglund, *PID controllers: theory, design, and tuning*, vol. 2. 1995.
- [20] devendra K. chaturvedi, *modeling and simulation of system using matlab and simulink*. 2010.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Bobby Resky Anggriawan, lahir pada tanggal 09 Juli 1995 di Kota Pekanbaru, Riau. Putra dari pasangan Iswandi Bachtiar Dan Nova Anggraini, yang beralamat di Jl. Tan Malaka, RT 001/ RW 001, Kelurahan Pematang Kapau, Kecamatan Tenayan Raya, Kota Pekanbaru, Riau, yang merupakan anak Pertama dari Dua bersaudara. Penulis menyelesaikan Pendidikan di Sekolah Dasar pada tahun 2007 di SD Negeri 031 Tampan, Kota Pekanbaru, setelah itu penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 7 Payakumbuh dan lulus pada tahun 2010. Penulis melanjutkan pendidikan di SMK Negeri 2 Payakumbuh dan lulus pada tahun 2013 pada jurusan Teknik Kendaraan Ringan, kemudian melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, fakultas Sains dan Teknologi dengan Program Studi Teknik Elektro konsentrasi Elektronika Instrumentasi dan lulus pada tahun 2021.

Selama perkuliahan penulis aktif dalam kegiatan akademik, beberapa kegiatan sosial masyarakat diselenggarakan oleh Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATE), kegiatan sosial universitas oleh sanggar kasimiyah dan mengikuti komunitas club motor Suzuki Satria F150 Club (SSFC) , bekerja pada perusahaan **Henov Teknologi** dibidang jasa pemasangan Mesin Pagar Otomatis, Akses Kontrol, dan promotion. Dengan ketekunan, dan motivasi yang tinggi untuk terus berusaha dan belajar, penulis berhasil menyelesaikan tugas akhir ini dan mampu berkontribusi sebagai referensi pada penelitian selanjutnya.

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT atas terselesaikan tugas akhir yang berjudul “ **PERANCANGAN KENDALI FUZZY SUGENO-PD UNTUK PENGENDALIAN SUDUT SUMBU ELEVASI PADA TURRET GUN** ”.

Untuk menjalin silaturahmi penulis dapat dihubungkan melalui:

Nomor Handpone  
E Mail  
Instagram

+62851 5884 3299  
[Bobbyresky123@gmail.com](mailto:Bobbyresky123@gmail.com) dan [bobby.resky.anggriawan@students.uin-suska.ac.id](mailto:bobby.resky.anggriawan@students.uin-suska.ac.id)  
@bobbyresky