



UNIVERSITAS PERTAHANAN RI

**PEMODELAN SISTEM KENDALI *HEADING* PADA
UNMANNED UNDERWATER VEHICLE BERBASIS SISTEM
KENDALI PID (*PROPORTIONAL, INTEGRAL, AND
DERIVATIVE*) MENGGUNAKAN *OPENMODELICA* GUNA
MENDUKUNG ALUTSISTA PERTAHANAN LAUT**

ANNISA MUTIARA PUTRI ABDUL 320210304004

**Skripsi yang Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan dalam
Mendapatkan Gelar Sarjana**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM MILITER
PROGRAM STUDI FISIKA
BOGOR, 2025**

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI

Nama : Annisa Mutiara Putri Abdul
NIM : 320210304004
Program Studi : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer
Judul : Pemodelan Sistem Kendali *Heading* pada *Unmanned Underwater Vehicle* berbasis Sistem Kendali PID (*Proportional, Integral, and Derivative*) Menggunakan *OpenModelica* guna Mendukung Alutsista Pertahanan Laut

Dosen Pembimbing I,



Adhi Kusumadjati, S.Pd., M.Si.
NIP. 199211172022031001
Tanggal : 10 Juli 2025

Dosen Pembimbing II,



Kol Laut (KH) Dr. Ir. Rudi Lazuardi, M.Si.
NRP. 12824
Tanggal : 17 Juli 2025

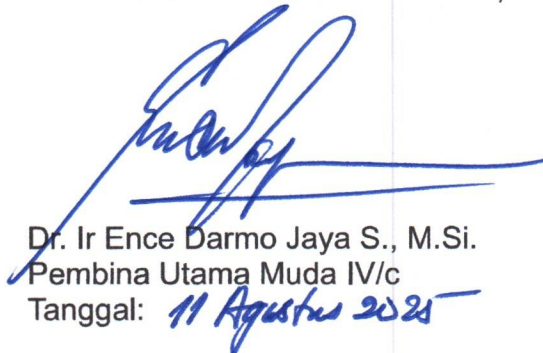
Mengetahui,

Kepala Program Studi Fisika



M. Zuhni P., S.Si., M.Eng.
Kolonel Tek. NRP. 522657
Tanggal: 8 Agustus 2025

Dekan Fakultas MIPA Militer,



Dr. Ir Ence Darmo Jaya S., M.Si.
Pembina Utama Muda IV/c
Tanggal: 11 Agustus 2025

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Nama : Annisa Mutiara Putri Abdul
 NIM : 320210304004
 Program Studi : Fisika
 Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer
 Judul : Pemodelan Sistem Kendali *Heading* pada Unmanned Underwater Vehicle berbasis Sistem Kendali PID (*Proportional, Integral, and Derivative*) Menggunakan *OpenModelica* guna Mendukung Alutsista Pertahanan Laut

No.	Nama	Tanda tangan	Tanggal
1.	Dosen Pembimbing I Adhi Kusumadjati, S.Pd., M.Si. NIP. 199211172022031001		10/07/2025
2.	Dosen Pembimbing II Kol Laut (KH) Dr. Ir. Rudi Lazuardi, M.Si. NRP. 12824		17/07/2025
3.	Dosen Penguji I Mutmainnah S.Si., M.Si. NIP. 199306162022032002		07/07/2025
4.	Dosen Penguji II Diyana Parwatiningtyas S.Si., M.T., M.Sc. NIP. 197801222024212001		09/07/2025

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya atau bagian karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan jenjang apapun di suatu Perguruan Tinggi; dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat istilah, frasa, kalimat, paragraph, subbab atau bab dari karya yang pernah ditulis atau diterbitkan; kecuali yang secara tertulis diajukan dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Refrensi.

Apabila di kemudian hari terbukti bahwa terdapat plagiat dalam skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan/undang undang yang berlaku.



Bogor, 17 Juli 2025

Annisa Mutiara Putri Abdul

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademika Universitas Pertahanan Republik Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Annisa Mutiara Putri Abdul
NIM : 320210304004
Program Studi : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pertahanan Republik Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalti-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Pemodelan Sistem Kendali *Heading* pada *Unmanned Underwater Vehicle* berbasis Sistem Kendali PID (*Proportional, Integral, and Derivative*) Menggunakan *OpenModelica* guna Mendukung Alutsista Pertahanan Laut

Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pertahanan Republik Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Bogor
Pada tanggal : 4 Agustus 2025
Yang menyatakan



Annisa Mutiara Putri Abdul
NIM. 320210304004

KATA PENGANTAR

Puji syukur peneliti panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat Rahmat dan karunia-Nya penulisan skripsi dengan judul: “Pemodelan Sistem Kendali *Heading* pada *Unmanned Underwater Vehicle* berbasis Sistem Kendali PID (*Proportional, Integral, and Derivative*) Menggunakan OpenModelica guna Mendukung Alutsista Pertahanan Laut” dapat diselesaikan.

Penyusunan skripsi ini ditujukan sebagai salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana pada program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer Universitas Pertahanan Republik Indonesia.

Penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, pada kesempatan ini Kadet Mahasiswa mengucapkan terima kasih kepada:

1. Jenderal TNI (Purn) Prabowo Subianto, selaku Presiden Republik Indonesia ke 8 yang telah menginisiasi lahirnya Kadet Mahasiswa Universitas Pertahanan Republik Indonesia.
2. Bapak Dr. Anton Nugroho, M.M.D.S., M.A. selaku Rektor Universitas Pertahanan Republik Indonesia.
3. Bapak Dr. Ir. Ence Darmo Jaya Supena, M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer Universitas Pertahanan Republik Indonesia.
4. Kol. Tek M. Zuhair Piliang, S.Si., M. Eng., selaku Kepala Program Studi Fisika Universitas Pertahanan Republik Indonesia.
5. Bapak Adhi Kusumadjati, S.Pd., M.Si., selaku Dosen Pembimbing I. Bapak Kolonel Laut (KH) Dr. Ir. Rudi Lazuardi, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing II.

6. Bapak Dr. Ir. Kuntjoro Pinardi M.Sc., selaku Pembimbing Magang di PT. PAL Indonesia.
7. Almarhum Bapak Abdul Jalil S.Pd., M.S, Ibu Siti Rahmadani Siregar, kedua adik penulis Aisyah Rahmadhani Putri Abdul dan Asyifa Rizkia Putri Abdul serta seluruh keluarga besar yang selalu memberikan dukungan dan motivasi pada penelitian ini.
8. Gustav Irgi Aldhiantoro sebagai rekan diskusi terkait pemodelan menggunakan OpenModelica.
9. Rekan-rekan dan adik asuh Prodi Fisika Universitas Pertahanan Republik Indonesia.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas kebaikan-kebaikan berbagai pihak atas bantuannya.

Saya menyadari bahwa skripsi ini masih kurang sempurna, oleh karena itu dengan kerendahan hati mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif demi kesempurnaan skripsi ini.

Akhirnya semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat terhadap pengembangan ilmu di bidang pertahanan terkait dalam upaya edukasi dan pengembangan sistem propulsi elektrik di Indonesia.

Bogor, Juli 2025

Annisa Mutiara Putri Abdul

ABSTRAK

PEMODELAN SISTEM KENDALI *HEADING* PADA *UNMANNED UNDERWATER VEHICLE* BERBASIS SISTEM KENDALI PID (PROPORTIONAL, INTEGRAL, AND DERIVATIVE) MENGGUNAKAN OPENMODELICA GUNA MENDUKUNG ALUTSISTA PERTAHANAN LAUT

Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar membutuhkan teknologi pertahanan laut yang efektif, salah satunya *Unmanned Underwater Vehicle* (UUV). Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan sistem kendali *heading* pada UUV menggunakan pengendali PID dengan perangkat lunak OpenModelica, serta membandingkan kinerja sistem *open loop*, *closed loop*, dan *closed loop multi-sensor* berdasarkan parameter sudut *rudder*. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif berbasis simulasi numerik. Model UUV dikembangkan berdasarkan pendekatan *state-space* yang diperoleh dari persamaan dinamika gerak *yaw* dan *sway*. Pengujian dilakukan melalui simulasi dengan input tetap dan input manuver (zig-zag) untuk mengevaluasi parameter performa sistem seperti *rise time*, *settling time*, dan *steady state error*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem *closed loop multi-sensor* memberikan performa terbaik dengan *rise time* 5,4 detik, *settling time* 10,8 detik, dan *steady state error* 0,0000156%. Sistem ini mampu menjaga kestabilan arah UUV dengan presisi tinggi, bahkan pada uji manuver zig-zag. Sebaliknya, sistem *open loop* menunjukkan ketidakstabilan dengan *rise time* 53 detik dan *settling time* 122 detik. Dengan demikian, *closed loop multi-sensor* merupakan pendekatan paling efektif untuk sistem kendali *heading* pada UUV.

Kata kunci: *Unmanned Underwater Vehicle*, PID, *Heading Control*, OpenModelica, Sistem Kendali, Alutsista Laut.

ABSTRACT

HEADING CONTROL SYSTEM MODELING OF AN UNMANNED UNDERWATER VEHICLE BASED ON PID (PROPORTIONAL, INTEGRAL, AND DERIVATIVE) CONTROL USING OPENMODELICA TO SUPPORT NAVAL DEFENSE SYSTEMS

Indonesia as the world's largest archipelagic country requires effective maritime defense technology, one of which is the Unmanned Underwater Vehicle (UUV). This study aims to model the heading control system of a UUV using a PID controller implemented in OpenModelica and to compare the performance of open loop, closed loop, and closed loop multi-sensor systems based on rudder angle parameters. A quantitative method was employed using numerical simulation. The UUV model was developed through a state-space approach derived from the dynamic equations of yaw and sway motion. Simulations were conducted under both constant and maneuvering (zig-zag) inputs to evaluate system performance parameters, including rise time, settling time, and steady-state error. The simulation results demonstrate that the closed loop multi-sensor system provides the best performance, with a rise time of 5.4 seconds, a settling time of 10.8 seconds, and a steady-state error of 0.0000156%. This system effectively maintains UUV heading stability with high precision, even during zig-zag maneuver tests. In contrast, the open loop system exhibited instability, with a rise time of 53 seconds and a settling time of 122 seconds. Therefore, the closed loop multi-sensor approach is the most effective for UUV heading control.

Keywords: *Unmanned Underwater Vehicle, PID, Heading Control, OpenModelica, Control System, Naval Defense.*

DAFTAR ISI

	Halaman
SAMPUL DEPAN	i
LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR SIMBOL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.4.1 Manfaat Teoretis.....	4
1.4.2 Manfaat Praktis	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Landasan Teori	5
2.1.1. Unmanned Underwater Vehicle (UUV).....	5
2.1.2. REMUS.....	6
2.1.3. Dinamika <i>Unmanned Underwater Vehicle</i> (UUV)	8
2.1.4. Parameter Sistem Kendali dalam Analisis Respon Transien	10

2.1.5.	Pemodelan Dinamika UUV	13
2.1.6.	Sistem Kendali	15
2.1.7.	Sistem Kendali PID (<i>Proportional, Integral, and Derivative</i>).....	17
2.1.7.	<i>OpenModelica</i>	19
2.2.	Hasil Penelitian Terdahulu	21
2.3.	Kerangka Berfikir	24
2.4.	Hipotesis.....	25
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1.	Metode dan Desain Penelitian	26
3.2.	Waktu dan Tempat Penelitian	26
3.3.	Alat dan Bahan Penelitian	28
3.4.	Variabel Penelitian.....	29
3.4.1.	Variabel Bebas	29
3.4.2.	Variabel Terikat.....	29
3.4.3.	Variabel Kontrol.....	29
3.5.	Prosedur Penelitian	29
3.5.1	Penentuan Model Unmanned Underwater Vehicle	31
3.5.2	Pemodelan Matematis Sistem Kendali <i>Heading</i>	31
3.5.3	Pembuatan Model Sistem Kendali <i>Heading</i>	32
3.5.4	Pengujian Simulasi Sistem Kendali <i>Heading</i>	34
3.6.	Metode Analisis	36
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	37
4.1.	Hasil Penelitian.....	37
4.1.1	Pemodelan Fungsi <i>State Space</i> Sistem Kendali <i>Heading</i>	37
4.1.2	Model Aktuator Sistem Kendali <i>Heading</i>	38
4.1.3	Model Sistem Kendali <i>Heading Open Loop</i>	40
4.1.4	Model Sistem Kendali <i>Heading Closed Loop</i>	42
4.1.5	Model Sistem Kendali <i>Heading Closed Loop Multi Sensor</i>	45
4.1.6	Gabungan Model Sistem Kendali <i>Heading</i>	47

4.1.7	Model Perbandingan Sistem Kendali <i>Heading</i> pada Kondisi <i>Input</i> Berubah (Uji Manuver)	49
4.1.8	Hasil Simulasi Perbandingan Sudut <i>Heading</i> terhadap Nilai Sudut <i>Rudder</i>	50
4.2.	Pembahasan	51
4.2.1	Analisis Model Aktuator Sistem Kendali <i>Heading</i>	51
4.2.2	Analisis Model Sistem Kendali <i>Heading Open Loop</i>	51
4.2.3	Analisis Model Sistem Kendali <i>Heading Closed Loop</i>	53
4.2.4	Analisis Model Sistem Kendali <i>Heading Closed Loop Multi Sensor</i>	54
4.2.5	Analisis Gabungan Model Sistem Kendali <i>Heading</i>	55
4.2.6	Analisis Model Perbandingan Sistem Kendali <i>Heading</i> pada Input Berubah (Uji Manuver)	56
4.2.7	Analisis Perbandingan Sudut <i>Heading</i> terhadap Sudut <i>Rudder</i>	57
BAB V	KESIMPULAN	59
5.1	Kesimpulan	59
5.2	Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	.....	61
LAMPIRAN 1	.....	66
LAMPIRAN 2	.....	67
LAMPIRAN 3	.....	69
LAMPIRAN 4	.....	71
LAMPIRAN 5	.....	73
LAMPIRAN 6	.....	76
LAMPIRAN 7	.....	82
LAMPIRAN 8	.....	87
LAMPIRAN 9	.....	90

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 3.1 Prosedur Penelitian	30
Gambar 3.2 Blok Model Referensi Open Loop	32
Gambar 3.3 Diagram Blok Open Loop.....	32
Gambar 3.4 Blok Model Referensi Closed Loop	33
Gambar 3.5 Diagram Blok Closed Loop	33
Gambar 3.6 Blok Model Referensi Closed Loop Multi Sensor	34
Gambar 3.7 Diagram Closed Loop Multi Sensor.....	34
Gambar 4.1 Blok Model <i>Rudder</i>	38
Gambar 4.2 Grafik Aktuator <i>Rudder</i> 35°	39
Gambar 4.3 Grafik Aktuator <i>Rudder</i> -35°	39
Gambar 4.4 Blok Model <i>Open-Loop</i>	40
Gambar 4.5 Grafik hasil <i>Open-Loop</i> pada 30°	41
Gambar 4.6 Grafik hasil <i>Open-Loop</i> pada -30°	41
Gambar 4.7 Blok Model <i>Closed-Loop</i>	42
Gambar 4.8 Grafik hasil <i>Closed-Loop</i> 30°	43
Gambar 4.9 Grafik hasil <i>Closed Loop</i> 10°	44
Gambar 4.10 Blok Model <i>Closed Loop Multi Sensor</i>	45
Gambar 4.11 Grafik hasil <i>Closed Loop Multi Sensor</i> 30°	46
Gambar 4.12 Grafik hasil <i>Closed Loop Multi Sensor</i> 10°	47
Gambar 4.13 Blok model gabungan <i>open loop, closed loop, dan closed loop multi sensor</i>	48
Gambar 4.14 Grafik hasil model gabungan 30°	48
Gambar 4.15 Blok model pengujian manuver	49
Gambar 4.16 Grafik hasil manuver	49

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Deskripsi notasi dan derajat kebebasan	8
Tabel 2.2 Hasil Penelitian Terdahulu	21
Tabel 3.1 Waktu Penelitian.....	27
Tabel 3.2 Spesifikasi Hardware.....	28
Tabel 3.3 Spesifikasi Software	28
Tabel 3.4 Spesifikasi REMUS	31
Tabel 3.5 Koefisien Hidrodinamika REMUS	31
Tabel 4.1 Performa Sistem Kendali <i>Heading Open-Loop</i>	42
Tabel 4.2 Performa Sistem Kendali <i>Closed Loop 30°</i>	43
Tabel 4.3 Performa Sistem Kendali <i>Closed Loop 10°</i>	44
Tabel 4.4 Performa Sistem Kendali <i>Closed Loop Multi Sensor 30°</i>	46
Tabel 4.5 Performa Sistem Kendali <i>Closed Loop Multi Sensor 10°</i>	47
Tabel 4.6 Perbandingan performa sistem kendali 30°	48
Tabel 4.7 Performa heading <i>manuvering</i>	50

DAFTAR SIMBOL

SIMBOL	Nama	Halaman
F	Gaya	9
a	Percepatan	9
M	Matriks inersia	9
D	Matriks redaman	9
τ	Input kontrol	9
v	Kecepatan	9
F_y	Gaya dalam sumbu-y	9
a_y	Percepatan dalam sumbu-y	9
$\dot{v}$	Turunan kecepatan sway terhadap waktu	9
m	Massa kapal selam	9
u_0	Kecepatan kapal selam	9
r	Kecepatan sudut yaw	9
x_G	Letak titik berat pada sumbu x	9
$Y_{\dot{v}}$	Turunan gaya sway terhadap $\dot{v}$	10
$Y_{\dot{r}}$	Turunan gaya sway terhadap $\dot{r}$	10
$N_{\dot{v}}$	Turunan momen yaw terhadap $\dot{v}$	10
$N_{\dot{r}}$	Turunan momen yaw terhadap $\dot{r}$	10
I_z	Momen inersia terhadap sumbu z	10
δ_R	Sudut defleksi rudder	10
Y_v	Turunan gaya sway terhadap v	10
Y_r	Turunan gaya sway terhadap r	10
N_v	Turunan momen yaw terhadap v	10
N_r	Turunan momen yaw terhadap r	10
Y_{δ}	Turunan gaya sway terhadap <i>rudder</i>	10
N_{δ}	Turunan momen yaw terhadap <i>rudder</i>	10
$\dot{r}$	Turunan kecepatan sudut yaw terhadap waktu	10
$\dot{\psi}$	Turunan sudut <i>heading</i> terhadap waktu	10
ψ	Sudut <i>heading</i>	10
$r(t)$	Nilai refrensi	16
$e(t)$	Error	16
K_i	<i>Gain Integral</i>	16
$u(t)$	Sinyal kendali	16
$y(t)$	Nilai <i>output</i>	16
K_p	<i>Gain Propotional</i>	16
K_d	<i>Gain Derivative</i>	16