



UNIVERSITAS PERTAHANAN RI

**Pemodelan Sistem *Ballast* pada Kapal Selam *Autonomous*
Menggunakan Openmodelica**

DINDA RAHMA DEWI - 320210304009

**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 : Dinda Rahma Dewi
NIM : 320210304009
Program Studi : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer
Judul : Pemodelan Sistem *Ballast* pada Kapal Selam
Autonomous menggunakan OpenModelica

Dosen Pembimbing I,



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

Dosen Pembimbing II,



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

Mengetahui,

Kepala Program Studi Fisika



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

Dekan Fakultas MIPA Militer



Dr. Ir. Ence Darmo Jaya Supena, M.Si.
Pembina Utama Muda IV/c
Tanggal: 11/8-2025

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Nama : Dinda Rahma Dewi
 NIM : 320210304009
 Program Studi : Fisika
 Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer
 Judul : Pemodelan Sistem Ballast pada Kapal Selam Autonomous menggunakan OpenModelica

No.	Nama	Tanda tangan	Tanggal
1.	Dosen Pembimbing I Adhi Kusumadjati S.Pd., M.Si. NIP.199211172022031001		10 Juli 2025
2.	Dosen Pembimbing II Dr. Ir. Rudi Lazuardi, S.Si., M.Si. Kolonel Laut (KH) NRP. 12824		17 Juli 2025
3.	Dosen Penguji I Khazali Fahmi, S.Pd., M.Si. NIP. 199208142022031002		17 Juli 2025
4.	Dosen Penguji II Mutmainnah, S.Si., M.Si. NIP. 199306162022032002		17 Juli 2025

PERNYATAAN ORISINALITAS

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

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

Bogor, 11 Agustus 2025



Dinda Rahma Dewi

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Pertahanan Republik Indonesia,
saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dinda Rahma Dewi
NIM : 320210304009
Program Studi : Sarjana Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer
Jenis Karya : Skripsi

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

**Pemodelan Sistem *Ballast* pada Kapal Selam *Autonomous*
menggunakan OpenModelica**

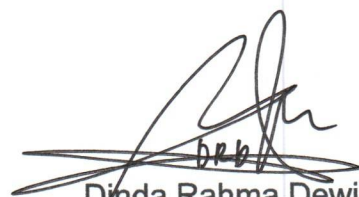
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti
Noneksklusif ini Universitas Pertahanan Republik Indonesia berhak
menyimpan, mengalih-media/formatkan, mengelola dalam bentuk
pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir
saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta
dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Bogor, 11 Agustus 2025

Pada tanggal : 11 Agustus 2025

Yang menyatakan



Dinda Rahma Dewi
NIM. 320210304009

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul: “Pemodelan Sistem *Ballast* pada Kapal Selam *Autonomous* menggunakan *OpenModelica*” sebagai salah satu syarat dalam penyusunan skripsi pada Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer, Universitas Pertahanan Republik Indonesia.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kolonel Tek M. Zuhnir P., S.Si., M.Eng. selaku Kepala Program Studi Fisika Militer, yang telah memberikan izin, dukungan, serta fasilitas dalam pelaksanaan penyusunan skripsi ini.
2. Adhi Kusumadjati S.Pd., M.Si. selaku Dosen Pembimbing I, yang dengan tulus telah meluangkan banyak waktunya untuk memberikan mengarahkan membimbing, serta memotivasi penulis selama menyusun skripsi ini.
3. Kolonel Laut (KH) Dr. Ir. Rudi Lazuardi, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan masukan, saran, dan bimbingan dalam menyempurnakan skripsi ini.
4. Kedua orang tua tercinta, atas doa, semangat, cinta dan segala dukungan dalam setiap langkah penulis.
5. Rekan-rekan Prodi Fisika, atas kebersamaan, semangat, dan dorongan selama proses belajar hingga penyusunan skripsi ini.
6. Serta semua pihak yang telah memberikan bantuan, baik secara langsung maupun tidak langsung, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan skripsi ini masih terdapat berbagai kekurangan dan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan masukan, kritik, dan saran yang membangun demi penyempurnaan di masa yang akan datang. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat yang seluas-luasnya, terutama dalam bidang ketahanan ekonomi nasional.

Bogor, 11 Agustus 2025

Dinda Rahma Dewi



ABSTRAK

Pemodelan Sistem *Ballast* pada Kapal Selam *Autonomous* Menggunakan Openmodelica

Indonesia memiliki tantangan keamanan maritim Indonesia, di mana armada kapal selam TNI AL masih jauh dari rekomendasi 12 unit, dengan mengembangkan model sistem ballast yang efisien untuk Unmanned Underwater Vehicles (UUV) sebagai alternatif yang hemat biaya. Dalam penelitian ini, kontrol kedalaman otonom dikaji melalui sistem ballast menggunakan perangkat lunak simulasi OpenModelica. Studi ini menganalisis hubungan antara massa muatan (150-300 kg) dan kapasitas tangki ballast, serta kinerja sistem kendali kedalaman. Hasil penelitian menunjukkan hubungan linear negatif di mana setiap penambahan beban 50 kg mengurangi volume tangki ballast yang diperlukan sekitar $0,05 \text{ m}^3$, sementara kontrol PID yang dioptimalkan dengan feed-forward ($k=0,11$, $T_i=200$, $T_d=85$, $k_{FF}=0,25$) dan hysteresis menunjukkan performa yang stabil tanpa overshoot signifikan, mencapai kedalaman 2000 meter dalam waktu sekitar 10.000 detik. Model ini memberikan respons transien yang lebih baik dibandingkan penelitian sebelumnya, khususnya dalam operasi yang hanya menggunakan ballast, sehingga menjadi dasar untuk merancang sistem ballast yang efisien dan stabil untuk berbagai aplikasi UUV dalam strategi pertahanan maritim Indonesia.

Kata kunci: Sistem ballast, OpenModelica, UUV, kendali kedalaman, PID, simulasi, daya apung, stabilitas, variasi beban.

ABSTRACT

Modeling of sistem ballast for Autonomous Submarine Using OpenModelica

Indonesia faces maritime security challenges where the Indonesian Navy's submarine fleet remains far below the recommended 12 units. Developing an efficient ballast system model for Unmanned Underwater Vehicles (UUV) presents a cost-effective alternative. In this research, autonomous depth control is examined through a ballast system using OpenModelica simulation software. This study analyzes the relationship between payload mass (150-300 kg) and ballast tank capacity, as well as depth control system performance. Research results show an inverse linear relationship where every 50 kg increase in load reduces the required ballast tank volume by approximately 0.05 m^3 , while optimized PID control with feed-forward ($k=0.11$, $T_i=200$, $T_d=85$, $k_{FF}=0.25$) and hysteresis demonstrates stable performance without significant overshoot, reaching a depth of 2000 meters in approximately 10,000 seconds. This model provides better transient response compared to previous research, particularly in operations using only ballast, thus serving as a foundation for designing efficient and stable ballast systems for various UUV applications in Indonesia's maritime defense strategy.

Keywords: Ballast system, OpenModelica, UUV, depth control, PID, simulation, buoyancy, stability, load variation

DAFTAR ISI

	Halaman
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	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR SIMBOL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Landasan Teori	6
2.2 Penelitian Terdahulu	23
2.3 Kerangka Berpikir	25
2.4 Hipotesis	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Metode dan Desain Penelitian	27
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	27
3.3 Alat dan Bahan	29
3.4 Variabel Penelitian	29
3.5 Alur Penelitian	30

3.6 Metode Analisis	32
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Hasil Penelitian	34
4.2 Pembahasan	47
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	56
5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN 1	65
LAMPIRAN 2	68
LAMPIRAN 3	70
LAMPIRAN 4	71
LAMPIRAN 5	84



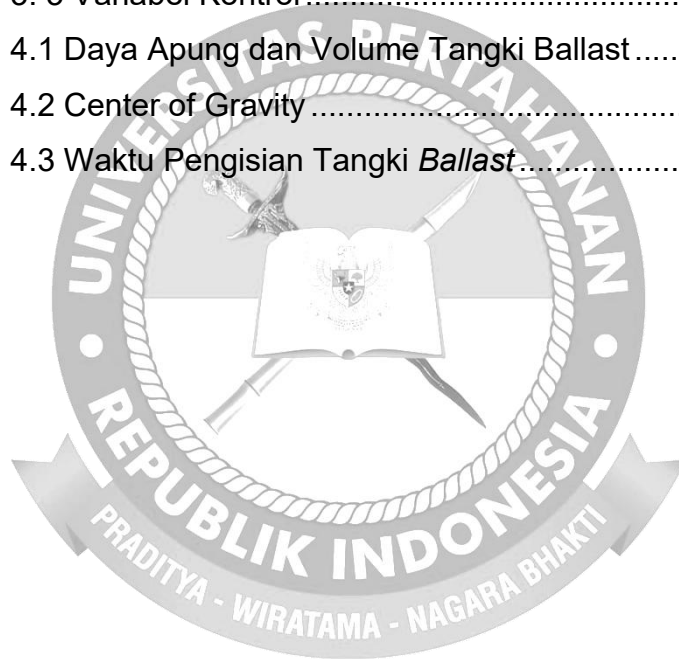
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 MK 18 MOD Ikan Pedang UUV	6
Gambar 2.2 Susunan dalam Kapal	7
Gambar 2.3 Diagram Blok Sistem Kontrol <i>Feed-Forward/Feedback</i>	10
Gambar 2.4 Skema Tangki <i>Ballast</i> secara Umum	13
Gambar 2.5 Desain Sistem Kontrol <i>Ballast</i>	14
Gambar 2.6 Diagram Blok Sistem Kontrol <i>Ballast</i>	14
Gambar 2.7 Diagram Blok Sistem Kontrol <i>Ballast</i>	15
Gambar 2.8 <i>Longitudinal Moment Arm</i>	19
Gambar 2.9 Ilustrasi Titik Stabilitas pada Penampang Melintang Kapal	20
Gambar 2.10 Perpindahan LCG	21
Gambar 2.11 OpenModelica	21
Gambar 2.11 Kerangka Berpikir	25
Gambar 3.1 Universitas Pertahanan Republik Indonesia	27
Gambar 3.2 Diagram Prosedur Penelitian	30
Gambar 3.3 Diagram Blok <i>Close-Loop</i>	31
Gambar 4.1 Model Perhitungan Volume Tangki <i>Ballast</i>	34
Gambar 4.2 (a) Grafik Hubungan Gaya apung dan (b) Grafik Hubungan Volume Tangki <i>Ballast</i> terhadap Massa Tambahan .	35
Gambar 4.3 Model Diameter <i>Valve</i>	36
Gambar 4.4 Kedalaman terhadap diameter dari katup untuk variasi massa aliran	37
Gambar 4.5 Model Freefilling	37
Gambar 4.6 Model <i>Depth Contol Submarine</i>	39
Gambar 4.7 Model lingkungan	40
Gambar 4.8 Model Hidrodinamika	40
Gambar 4.9 Model <i>Wetted Area</i>	41
Gambar 4.10 Model <i>Bouyancy Force</i>	42

Gambar 4.11 Model <i>Gravitation Force</i>	43
Gambar 4.12 Model <i>Drag Force</i>	44
Gambar 4.13 Model <i>Bouyancy system</i>	44
Gambar 4.14 Model <i>UUV Body</i>	45
Gambar 4.15 Model <i>Control</i> PID, FF, dan DB	46
Gambar 4.16 Grafik Kedalaman terhadap Waktu dengan Garis Referensi Kedalaman Target	50
Gambar 4.17 Grafik Kedalaman terhadap Waktu dengan Garis Referensi Kedalaman Target untuk Tangki Ballast dengan Beban 150 kg	50
Gambar 4.18 Grafik Kedalaman terhadap Waktu dengan Garis Referensi Kedalaman Target untuk Tangki Ballast dengan Beban 200 kg	51
Gambar 4.19 Grafik Kedalaman terhadap Waktu dengan Garis Referensi Kedalaman Target untuk Tangki Ballast dengan Beban 250 kg	51
Gambar 4.20 Grafik Kedalaman terhadap Waktu dengan Garis Referensi Kedalaman Target untuk Tangki Ballast dengan Beban 300 kg	52

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	23
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian	28
Tabel 3. 2 Variasi Beban dan Peruntukannya	29
Tabel 3. 3 Variabel Kontrol	29
Tabel 4.1 Daya Apung dan Volume Tangki Ballast	34
Tabel 4.2 Center of Gravity	36
Tabel 4.3 Waktu Pengisian Tangki <i>Ballast</i>	38



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Nama	Halaman
θ_m	sudut amplitudo	15
t	waktu	15
$\Delta\theta$	selisih sudut aktual dan sudut yang diinginkan	15
θ_i	sudut yang diinginkan	15
θ_o	sudut aktual	15
V_{TB}	volume tangki <i>ballast</i>	19
H	head pompa	19
P	tekanan yang dihasilkan oleh pompa	19
Q	debit fluida	19
v	kecepatan fluida	19
P_o	tekanan fluida pada keluaran pompa	22
ρ	massa jenis fluida	22
$\dot{v}$	laju aliran volumetrik fluida	22
A_p	luas penampang tubing pada keluaran pompa	22
P_g	tekanan udara di dalam tangki	19
g	percepatan gravitasi	19
Z_{max}	batas kedalaman operasional kendaraan	23
$\dot{v}_\omega$	laju aliran volumetrik	23
κ	input kontrol	23
A_t	luas penampang tangki ballast	23
η	efisiensi nozzle	23
P_z	tekanan air sekitar	23
τ	torsi masukan yang diperlukan untuk pompa	19
δ	perpindahan volumetrik tetap pompa per putaran	22

ΔP	perbedaan tekanan antara tekanan fluida keluaran pompa dan tekanan masukan pompa	22
$F_{\max}$	gaya aktuasi maksimum	23
$V_{\omega, \max}$	volume maksimum air yang dapat dipompa ke dalam tangki	23
b	daya apung	24
m_t	massa benda total	24
V_D	volume fluida yang dipindahkan oleh benda	19
W_D	berat fluida yang dipindahkan oleh benda	24
W_T	berat benda total	24
G	pusat gravitasi	27
B	pusat apung	27
BM	jarak antara pusat apung dan metasentrum	27
BG	jarak antara pusat apung dan pusat gravitasi	27
$G(s)$	control unit	21
$I_i(s)$	arus yang dikonversi dari sudut yang diinginkan adalah 0^0	21
$\Theta(s)$	sudut aktual kemiringan kapal	21
$E_i(s)$	tegangan dari output unit kontrol	21
$E_o(s)$	tegangan yang keluar dari motor starter	21
$Q(s)$	kapasitas pompa yang sama dengan katup butterfly	21
$M(s)$	gerakan rolling yang disebabkan oleh gerakan kapal itu sendiri	21
$I_p(s)$	arus yang dikonversi dari sensor inklinometer	21