

**SKRIPSI**  
**SISTEM KONTROL POSISI *AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE***  
**DENGAN MENGGUNAKAN PENGENDALI PID**



**Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada**  
**Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**  
**Universitas Sriwijaya**

**Oleh :**

**ALBERT MARIO ALFARINO**

**03041381722100**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2021**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**SISTEM KONTROL POSISI *AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE***  
**DENGAN MENGGUNAKAN PENGENDALI PID**



**SKRIPSI**


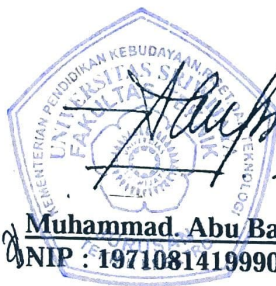
**Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada**  
**Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**  
**Universitas Sriwijaya**

**Oleh :**

**ALBERT MARIO ALFARINO**

**03041381722100**

**Mengetahui,**  
**Ketua Jurusan Teknik Elektro**

**Muhammad. Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.**  
**NIP : 197108141999031005**

**Palembang, 27 Juli 2021**  
**Menyetujui,**  
**Pembimbing Utama**

**Dr. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T**  
**NIP : 197502112003121002**

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Albert Mario Alfarino  
NIM : 03041381722100  
Fakultas : Teknik  
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro  
Universitas : Universitas Sriwijaya

Hasil Pengecekan *Software iThenticate/Turnitin* : 14%

Menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul "Sistem Kontrol Posisi *Autonomous Underwater Vehicle* dengan Menggunakan Pengendali PID". merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam karya ilmiah ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tanpa paksaan.

Palembang, 27 Juli 2021



Albert Mario Alfarino  
NIM. 03041381722100

Saya sebagai Pembimbing dengan ini menyatakan bahwa saya telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya ruang lingkup dan kualitas skripsi ini mencukupi sebagai skripsi mahasiswa sarjana strata satu (S1).

Tanda Tangan

:  \_\_\_\_\_

Pembimbing Utama : Dr. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T

Tanggal

: 27 / Juli / 2021

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK  
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Albert Mario Alfarino  
NIM : 03041381722100  
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

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

**SISTEM KONTROL POSISI *AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE*  
DENGAN MENGGUNAKAN PENGENDALI PID**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih media /formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tulisan saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Palembang

Pada tanggal :27 Juli 2021

Yang menyatakan,



Albert Mario Alfarino  
NIM. 03041381722100

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan yang Maha Esa. Atas Berkat dan Kasih dari Tuhan, keluarga dan para sahabat, karena berkat rahmat dan karunia-Nya penyusun dapat menyelesaikan skripsi "Sistem Kontrol Posisi *Autonomous Underwater Vehicle* dengan Menggunakan Pengendali PID".

Pembuatan skripsi ini disusun untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya dan Ibu Dr. Eng. Suci Dwijayanti S.T., M.S. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya.
2. Bapak Dr. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T. selaku pembimbing utama tugas akhir ini yang telah memberikan bimbingan dan memberikan ilmu selama proses penulisan skripsi.
3. Bapak Dr. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T. dan Ibu Dr. Eng. Suci Dwijayanti S.T., M.S. selaku pencetus dan memberikan bimbingan pada tugas akhir ini serta pengembang ide.
4. Dosen pembimbing akademik, bapak Ir. Armin Sofijan, M.T. yang telah memberikan arahan serta bimbingan kepada penulis selama masa perkuliahan.
5. Segenap Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan.
6. Orang tua, saudara, keluarga yang selalu memberikan semangat dan memberi dukungan baik secara mental, fisik, maupun finansial.
7. Saudari Nyiayu Aisyatul selaku rekan kerja yang selalu bersemangat dalam pembuatan tugas akhir ini.
8. Markus Hermawan, Irvine Valiant, Muhammad Yusup, Jordy Setiawan, dan teman-teman satu angkatan konsentrasi Teknik Kendali dan Komputer yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini khususnya.

9. Dan pihak-pihak yang sangat membantu didalam penyusunan skripsi ini, yang tidak dapat penyusun sebutkan satu persatu.
10. Teman – teman Klub Robotika UNSRI yang selalu membantu dan menyemangati

Didalam penyusunan skripsi ini, masih terdapat kekurangan karena keterbatasan penyusun, oleh karena itu penyusun mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar dapat menjadi evaluasi dan berguna untuk penyusun dimasa yang akan datang.

Palembang, 27 Juli 2021



Albert Mario Alfarino  
NIM. 03041381722100

## ABSTRAK

### **SISTEM KONTROL POSISI *AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE* DENGAN MENGGUNAKAN PENGENDALI PID**

(Albert Mario Alfarino, 03041381722100, 2021, 46 halaman)

---

Luas daerah perairan yang ada di bumi ini melebihi luas daratan yang ada, begitupun juga dengan negara Indonesia. Luas daerah perairan Indonesia dapat dimanfaatkan dalam berbagai hal, salah satunya eksplorasi di dalam air dengan menggunakan robot bawah air. *Autonomous Underwater Vehicle* (AUV) merupakan salah satu jenis robot bawah air. Sistem kontrol AUV di dalam air memerlukan pengendali agar dapat melakukan pergerakan dengan baik. Pengendali PID merupakan pengendali yang memiliki struktur sederhana dan menghasilkan kinerja yang baik. Penelitian dilakukan untuk mengontrol pergerakan *surge*, *heave* dan *yaw* pada AUV di dalam air. Simulasi pemodelan AUV dilakukan dengan menggunakan Simulink bertujuan untuk menentukan nilai penguat PID. Hasil simulasi untuk pergerakan *surge* nilai  $K_p = 38,41$ ,  $K_i = 10,8$  dan  $K_d = 58,4$ , pergerakan *heave* nilai  $K_p = 49,13$ ,  $K_i = 2,56$  dan  $K_d = 107,12$  serta pergerakan *yaw* nilai  $K_p = 3,18$ ,  $K_i = 0,18$  dan  $K_d = 12,11$ . Hasil penelitian menunjukkan bahwa AUV dapat melakukan pergerakan untuk mempertahankan posisi yang ditentukan oleh *set point* dengan baik selama 12 – 15 detik.

***Kata Kunci : Autonomous Underwater Vehicle, PID, Sistem Kontrol, Simulink.***



## **ABSTRACT**

### **CONTROL POSITION SYSTEM OF AN AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE USING PID CONTROLLER**

(Albert Mario Alfarino, 03041381722100, 2021, 46 pages)

---

*The area of the waters on this earth is more than the land area, it is also as in Indonesia. It can be utilized for various purposes, for an example is underwater exploration using underwater robots. It can be implemented in Underwater Vehicle . The AUV control system on underwater requires a controller to be able to move properly. PID controller is a controller that has a simple structure and yield great performance. This research was conducted to control the movement of surge, heave, and yaw of AUV on underwater. AUV modeling simulations were carried out using Simulink to determine the PID gain value. The simulation results for surge movement were  $K_p = 38.41$ ,  $K_i = 10.8$  and  $K_d = 58.4$ , heave movement were  $K_p = 49.13$ ,  $K_i = 2.56$  and  $K_d = 107.12$  and yaw movement were  $K_p = 3.18$ ,  $K_i = 0.18$  and  $K_d = 12.11$ . The results showed that AUV could perform well and maintain the position determined by the setpoint for 12-15 seconds.*

***Keywords : Autonomous Underwater Vehicle, PID, Control System, Simulink.***

## DAFTAR ISI

COVER .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	iii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
ABSTRAK .....	viii
<i>ABSTRACT</i> .....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR RUMUS.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Pembatasan Masalah .....	3
1.5 Keaslian Penelitian .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 <i>State of The Art</i> .....	5
2.2 <i>Autonomous Underwater Vehicle</i> .....	13

2.3 Sensor .....	14
2.3.1 Modul MPU6050 .....	14
2.3.2 Modul Sensor GY-MS5083-14BA .....	15
2.4 Model Matematika <i>Autonomous Underwater Vehicle</i> .....	15
2.4.1 Kinematik AUV .....	16
2.4.2 Dinamik AUV .....	18
2.5 Sistem Kontrol PID .....	22
<b>BAB III METODELOGI PENELITIAN .....</b>	<b>23</b>
3.1 Studi Literatur .....	23
3.2 Perancangan Sistem .....	24
3.2.1 Perancangan Pemograman .....	26
3.2.2 Perancangan <i>Hardware</i> .....	26
3.3 Pengujian Sistem .....	29
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Perancangan Alat .....	31
4.2 Simulasi Rancangan AUV .....	31
4.3 Simulasi AUV dengan Menggunakan Pengendali PID .....	33
4.4 Pengujian AUV dengan Menggunakan Pengendali PID .....	39
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	44
5.2 Saran .....	44
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR PUSTAKA

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Hasil eksperimen kedalaman.....	6
Gambar 2.2	Hasil simulasi kontrol gerak kedalaman dan ke timur .....	7
Gambar 2.3	Hasil simulasi kontrol gerak ke utara dan sudut <i>pitch</i> .....	7
Gambar 2.4	<i>Tracking</i> dan <i>follower</i> menggunakan kontroler PD dan PI.....	8
Gambar 2.5	<i>Tracking</i> dan <i>follower</i> menggunakan kontroler LQR .....	8
Gambar 2.6	Kontrol kedalaman AUV dengan CSA dan teknik Ziegler-Nichols.....	11
Gambar 2.7	Kontrol sudut <i>yaw</i> AUV dengan CSA dan teknik Ziegler-Nichols .....	11
Gambar 2.8	<i>Error</i> hasil simulasi posisi dan kecepatan.....	13
Gambar 2.9	Orientasi sumbu sensitivitas dan polaritas rotasi .....	15
Gambar 2.10	Modul MPU6050.....	16
Gambar 2.11	Modul Sensor GY-MS5083-14BA.....	16
Gambar 2.12	Kinematika AUV.....	19
Gambar 2.13	<i>Mapping</i> motor pendorong AUV .....	22
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Penelitian .....	24
Gambar 3.2	<i>Flowchart</i> Perancangan Sistem.....	26
Gambar 3.3	Diagram Blok Sistem .....	27
Gambar 3.4	Desain Autonomous Underwater Vehicle.....	28
Gambar 4.1	AUV .....	31
Gambar 4.2	Desain AUV simulasi.....	32
Gambar 4.3	Pencocokan kurva PWM dan gaya dorong .....	35
Gambar 4.4	Model Simulink.....	36

Gambar 4.5	Simulasi Simulink pergerakan <i>surge</i> .....	37
Gambar 4.6	Simulasi Simulink pergerakan <i>heave</i> .....	37
Gambar 4.7	Simulasi Simulink pergerakan <i>yaw</i> .....	38
Gambar 4.8	Pengujian pertama pergerakan <i>heave</i> pada AUV .....	39
Gambar 4.9	Pengujian pertama pergerakan <i>yaw</i> pada AUV.....	40
Gambar 4.10	Pengujian kedua pergerakan <i>heave</i> pada AUV .....	41
Gambar 4.11	Pengujian kedua pergerakan <i>yaw</i> pada AUV .....	42
Gambar 4.12	Pengujian pertama pergerakan <i>heave</i> pada pengujian ketiga.....	42
Gambar 4.13	Pengujian kedua pergerakan <i>heave</i> pada pengujian ketiga .....	43
Gambar 4.14	Pengujian ketiga pergerakan <i>heave</i> pada pengujian ketiga .....	44
Gambar 4.15	Pengujian kedua pergerakan <i>surge</i> pada AUV .....	45

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan efisiensi kontroler PID untuk kontrol kedalaman AUV.....	10
Tabel 2.2	Perbandingan efisiensi kontroler PID untuk kontrol sudut <i>yaw</i> AUV.....	10
Tabel 2.3	Informasi model referensi .....	12
Tabel 2.4	Parameter Kontroler dan <i>Plant</i> .....	12
Tabel 2.5	Nilai PID untuk pilihan 1 dan 2 .....	12
Tabel 4.1	Data hasil simulasi dan pengukuran AUV .....	32
Tabel 4.2	Nilai PWM, RPM dan gaya dorong .....	34
Tabel 4.3	Nilai <i>Gain</i> Simulasi Simulink .....	36
Tabel 4.4	Hasil simulasi Simulink .....	38

## DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1	Kecepatan dan Posisi AUV algoritma PSO.....	7
Rumus 2.2	Jalur <i>Tracking</i> AUV.....	8
Rumus 2.3	Perhitungan nilai afinitas.....	10
Rumus 2.4	Perhitungan nilai <i>error</i> .....	10
Rumus 2.5	Dinamik AUV mengikuti sebuah jalur .....	12
Rumus 2.6	Nilai error dinamik .....	12
Rumus 2.7	Vektor kinematik AUV sistem koordinat tubuh .....	17
Rumus 2.8	Vektor kinematik AUV sistem koordinat dunia .....	17
Rumus 2.9	Sudut Euler.....	17
Rumus 2.10.a	Vektor kecepatan sistem koordinat tubuh dalam bentuk <i>state space</i> .....	17
Rumus 2.10.b	Vektor kecepatan sistem koordinat dunia dalam bentuk <i>state space</i> .....	17
Rumus 2.10.c	Vektor gaya atau torsi pendorong .....	18
Rumus 2.11	Transformasi vektor kecepatan sistem koordinat tubuh menjadi sistem koordinat dunia.....	18
Rumus 2.12	Kecepatan atau percepatan linear sistem koordinat dunia .....	18
Rumus 2.13	Kecepatan atau percepatan angular sistem koordinat dunia .....	18
Rumus 2.14	Dinamik AUV.....	19
Rumus 2.15	Pergerakan Translasi dan Rotasi AUV setiap sumbu .....	20
Rumus 2.16	Matriks massa dan inersia .....	20
Rumus 2.17	Penyederhanaan matriks massa dan inersia .....	20
Rumus 2.18	Matriks <i>added mass</i> .....	20
Rumus 2.19	Matriks Coriolis dan Sentripetal .....	20
Rumus 2.20	Matriks Coriolis hidrodinamik <i>added mass</i> .....	20



Rumus 2.21	Matriks gaya hambat linear.....	21
Rumus 2.22	Matriks gaya hambat kuadratik .....	21
Rumus 2.22.a	Persamaan gaya hambat.....	21
Rumus 2.23	Matriks gaya gravitasi dan gaya apung .....	22
Rumus 2.24	Vektor gaya dan torsi pandorong .....	22
Rumus 2.25	Matriks <i>mapping</i> .....	23
Rumus 2.26	Sistem kontrol PID .....	23
Rumus 4.1	Persamaan dinamik AUV ... ..	33
Rumus 4.2	Persamaan dinamik <i>surge</i> ... ..	33
Rumus 4.3	Persamaan dinamik <i>heave</i> ... ..	34
Rumus 4.4	Persamaan dinamik <i>yaw</i> .....	34
Rumus 4.5	Persamaan kinematik <i>surge</i> .....	34
Rumus 4.6	Persamaan kinematik <i>heave</i> .....	34
Rumus 4.7	Persamaan kinematik <i>yaw</i> ... ..	34
Rumus 4.8	Persamaan gaya dorong .....	35

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Luas daerah perairan yang ada di bumi ini melebihi luas daratan yang ada, begitu pun juga dengan negara Indonesia. Luas lautan yang ada di Indonesia seluas 3,25 juta Km<sup>2</sup> menurut data dari Kementerian Kelautan dan Perikanan [1]. Wilayah laut Indonesia yang luas dapat dimanfaatkan oleh pemerintah dan masyarakat dalam berbagai hal. Salah satu kegiatan tersebut yaitu melakukan eksplorasi di dalam laut. Eksplorasi laut yang dilakukan oleh manusia memiliki potensi yang tinggi akan terjadinya kecelakaan dan dapat menimbulkan adanya korban jiwa, selain itu lingkungan yang dapat berubah-ubah dengan cepat merupakan salah satu faktor penyebabnya.

Hal ini yang mendorong akan adanya perubahan dalam melakukan pengeksplorasian bawah air untuk kepentingan tertentu, yaitu dengan menggunakan robot sebagai pengganti manusia yang dapat melakukan tugas atau misi di dalam air [2][3]. Robot bawah air merupakan solusi yang tepat untuk menggantikan manusia dalam melakukan misi atau tugas di dalam air, tugas yang dilakukan oleh robot dapat berupa tugas sederhana hingga yang sulit untuk manusia seperti penelitian bawah laut, pencarian sumber daya bawah laut, pengamatan pipa bawah air, pertahanan dan keamanan pelabuhan serta aplikasi dalam area militer [4]. Hal yang paling penting dalam menggunakan robot bawah air adalah sistem kendali yang digunakan untuk mengontrol posisi dan pergerakan robot bawah air. Sistem kontrol posisi robot diperlukan untuk mengetahui kondisi dan keberadaan robot di dalam air.

Terdapat dua jenis robot bawah air secara umumnya, yaitu ROV (*Remotely Operated Vehicle*) dan AUV (*Autonomous Underwater Vehicle*). AUV merupakan robot bawah air yang dapat melakukan tugas di dalam air secara otomatis, tanpa adanya operator yang mengatur pergerakan robot. Terdapat berbagai macam sistem kontrol yang telah digunakan pada AUV seperti menggunakan sistem kontrol PID

(*Proportional Integral Derivative*) [5][6], *self-adaptive Fuzzy* PID [7], kontrol adaptif [8] dan *Neural Network-Fuzzy* [2]. Beberapa sistem kontrol tersebut menunjukkan hasil yang baik dalam mengontrol AUV. Pada penelitian [5][6][7][8] melakukan kontrol kedalaman dan pada penelitian [6][7][8] hanya melakukan simulasi saja.

Sistem kontrol PID lebih sederhana dalam strukturnya dan menghasilkan kinerja yang baik untuk berbagai sistem [6]. Berdasarkan hal tersebut penulis mengambil topik mengenai Sistem kontrol posisi AUV dengan menggunakan pengendali PID.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Eksplorasi laut di area-area yang ekstrim dan berbahaya akan mengakibatkan resiko kecelakaan yang tinggi untuk manusia. Tugas atau misi yang berada di dalam air yang tidak dapat dijangkau oleh manusia dapat digantikan oleh robot bawah air. Robot yang digunakan dapat berupa robot yang dioperasikan oleh manusia secara langsung atau bergerak secara otomatis yang mengeksekusi perintah yang telah diberikan sebelumnya. Robot harus memiliki sistem kontrol agar dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Sistem kontrol yang digunakan oleh robot sangat mempengaruhi hasil kinerja dari robot. Salah satu kinerja robot dinilai dari kemampuan robot tersebut dalam mempertahankan posisi pada satu koordinat tertentu. Oleh karena itu, sistem kontrol posisi robot bawah air menjadi salah satu hal yang harus diperhatikan karena dengan memiliki sistem kontrol posisi yang baik, keberadaan dan kondisi dari robot akan dapat diketahui dengan presisi.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengimplementasikan pengendali PID pada AUV.
2. Menguji pengendali PID pada kontrol kestabilan, posisi dan kedalaman pada AUV.

#### 1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian sebagai berikut :

1. Menggunakan pengendali PID untuk kontrol kedalaman, posisi dan kestabilan AUV.
2. Menggunakan mikrokontroler Arduino.
3. Sistem kendali posisi menggunakan sensor tekanan, akselerasi dan giroskop.
4. Menggunakan bahasa pemrograman Arduino.

#### 1.5 Keaslian Penelitian

Penelitian mengenai sistem kontrol AUV telah dilakukan oleh beberapa peneliti seperti J.H.A.M Vervoort yang menggunakan teknik kontrol linear umpan balik yang didesain untuk pengontrolan pada derajat kebebasan seperti *surge*, *heave* dan *yaw*. Simulasi pertama yang dilakukan terhadap sistem yang didesain dapat berjalan dengan baik walaupun dengan adanya parameter gangguan dan implementasi *noise* pada umpan balik dari posisi dan sinyal kecepatan, kemudian simulasi kedua yang dilakukan dengan mengikuti sebuah jalur yang telah ditentukan dan bergerak dari titik awal menuju titik tujuan dengan baik [9]. Jalur yang diberikan berupa garis lurus dan lingkaran. Namun pada penelitian ini hanya menggunakan simulasi dari Matlab Simulink tidak melakukan eksperimen langsung di air.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Zhaodong Tang dkk. membahas mengenai sistem kontrol ISMC (*Integral Sliding Mode Controller*) yang diterapkan pada AUV untuk mengontrol kedalaman. Setelah melakukan simulasi, mereka menyimpulkan bahwa ISMC efisien digunakan untuk kontrol kedalaman pada AUV dan memiliki beberapa kelebihan dari PID, namun mereka juga menyebutkan bahwa PID memiliki kelebihan pada percobaan kontrol sudut *pitch* yang lebih baik daripada ISMC [10].

Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Chong Lv dkk. membandingkan sistem kontrol PD (*Proportional Derivative*) tradisional dan sistem kontrol PD

dengan menentukan nilai  $K_p$  dan  $K_d$  berdasarkan algoritma PSO (*Particle Swarm Optimization*) yang dimodifikasi. Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan oleh mereka menyatakan bahwa kontrol PD yang ditentukan menggunakan algoritma PSO modifikasi dapat memberikan hasil kontrol yang lebih baik daripada kontrol PD biasa [11]. Namun penelitian yang dilakukan hanya mengambil hasil dari simulasi tanpa percobaan secara langsung pada AUV di air.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Mai Ba Loc dkk. membahas tentang pembuatan desain dan strategi kontrol baru untuk AUV. Pada sistem kontrol kedalamannya menggunakan kontroler PD yang ditambah penguat tambahan ( $\gamma$ ). Mereka menyimpulkan bahwa strategi sistem kontrol yang digunakan pada penelitian ini bekerja dengan baik pada saat simulasi dan eksperimen yang dilakukan [5]. Namun hasil eksperimen juga menunjukkan bahwa terdapat kondisi saat sensor kedalaman yang *offset* sehingga menyebabkan kontrol kedalaman tidak maksimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. Pratama, “Konservasi Perairan Sebagai Upaya menjaga Potensi Kelautan dan Perikanan Indonesia,” 2020. [Online]. Available: <https://kkp.go.id/djprl/artikel/21045-konservasi-perairan-sebagai-upaya-menjaga-potensi-kelautan-dan-perikanan-indonesia#:~:text=Terbentang%25dari%25Sabang%25hingga%25Merauke,%25km%25adalah%25Zona%25Ekonomi%25Eksklusif.> [Accessed: 06-Feb-2021].
- [2] B. Xu, S. R. Pandian, N. Sakagami, and F. Petry, “Neuro-fuzzy control of underwater vehicle-manipulator systems,” *J. Franklin Inst.*, vol. 349, no. 3, pp. 1125–1138, 2012.
- [3] P. B. Sujit and F. L. Pereira, “UAV and AUVs Coordination for Ocean Exploration,” 2009.
- [4] L. Zhang, D. P. Jiang, and J. X. Zhao, “The basic control system of an ocean exploration AUV,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 411–414, pp. 1757–1761, 2013.
- [5] M. B. Loc, H. S. Choi, J. M. Seo, S. H. Baek, and J. Y. Kim, “Development and control of a new AUV platform,” *Int. J. Control. Autom. Syst.*, vol. 12, no. 4, pp. 886–894, 2014.
- [6] D. A. Lakhwani and D. M. Adhyaru, “Performance comparison of PD, PI and LQR controller of autonomous under water vehicle,” *2013 Nirma Univ. Int. Conf. Eng. NUiCONE 2013*, 2013.
- [7] M. H. Khodayari and S. Balochian, “Modeling and control of autonomous underwater vehicle (AUV) in heading and depth attitude via self-adaptive fuzzy PID controller,” *J. Mar. Sci. Technol.*, vol. 20, no. 3, pp. 559–578, 2015.
- [8] M. Zeinali and L. Notash, “Adaptive sliding mode control with uncertainty estimator for robot manipulators,” *Mech. Mach. Theory*, vol. 45, no. 1, pp. 80–90, 2010.

- [9] J. H. A. M. Vervoort, *Modeling and Control of an Unmanned Underwater Vehicle*. Christchurch, New Zealand, 2008.
- [10] Z. Tang *et al.*, “Simulation of Optimal Integral Sliding Mode Controller for the Depth Control of AUV,” *Proc. 2010 IEEE Int. Conf. Inf. Autom.*, pp. 2379–2383, 2010.
- [11] C. Lv, Y. Pang, and L. Zhang, “Improved PD Controller for AUV Based On MPSO,” *2009 Int. Asia Conf. Informatics Control. Autom. Robot.*, pp. 0–4, 2009.
- [12] J. Lee, M. Roh, J. Lee, and D. Lee, “Clonal selection algorithms for 6-DOF PID control of autonomous underwater vehicles,” *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 4628 LNCS, pp. 182–190, 2007.
- [13] G. Antonelli, T. I. Fossen, and D. Yoerger, *Underwater robotics*. 2007.
- [14] L. A. Gonzalez, “Design, Modelling and Control of an Autonomous Underwater Vehicle,” 2004.
- [15] M. Ataei and A. Yousefi-koma, “Three-dimensional optimal path planning for waypoint guidance of an autonomous underwater vehicle,” *Rob. Auton. Syst.*
- [16] T. I. Fossen, *Marine Control Systems Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles*. Trondheim: Marine Cybernetics, 2002.