

SKRIPSI
IMPLEMENTASI *FUZZY LOGIC CONTROL* (FLC)
SEBAGAI SISTEM KENDALI INTEGRASI POSISI
KERAMBA JARING APUNG DAN *AUTONOMOUS*
BUOY



Disusun Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan

Gelar Sarjana Teknik

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik

Oleh:

M. AKBAR

03041282126093

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025

LEMBAR PENGESAHAN
IMPLEMENTASI *FUZZY LOGIC CONTROL* (FLC) SEBAGAI SISTEM
KENDALI INTEGRASI POSISI KERAMBA JARING APUNG DAN
AUTONOMOUS BUOY



SKRIPSI

Disusun Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik Pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

Oleh:

M. AKBAR

03041282126093

Palembang, 23 Juli 2025

Menyetujui,

Dosen Pembimbing

Ir. Hera Hikmarika, S.T. M.Eng.

NIP. 197812072002122001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Dr. Muhammad Abn Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU, APEC Eng.

NIP. 197812072002122001

LEMBAR PERNYATAAN DOSEN

Saya sebagai pembimbing dengan ini menyatakan bahwa Saya telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya skop dan kualitas skripsi ini mencukupi sebagai skripsi mahasiswa sarjana strata satu (S1)

Tanda Tangan :  _____

Pembimbing Utama : Ir. Hera Hikmarika, S.T. M.Eng.

Tanggal : 23/Juli/2025

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : M. Akbar
Nim : 03041282126093
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:

IMPLEMENTASI *FUZZY LOGIC CONTROL* (FLC) SEBAGAI SISTEM KENDALI INTEGRASI POSISI KERAMBA JARING APUNG DAN *AUTONOMOUS BUOY*

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 sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Palembang
Pada tanggal : 23 juni 2025



M. Akbar
NIM. 03041282126093

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : M. Akbar
NIM : 03041282126093
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro
Universitas : Universitas Sriwijaya

Hasil Pengecekan Software *iThenticate/Turnitin* : 1%

Menyatakan bahwa laporan hasil penelitian Saya yang berjudul "Implementasi *Fuzzy Logic Control* (FLC) Sebagai Sistem Kendali Integrasi Posisi Keramba Jaring Apung dan *Autonomous Buoy*" 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, 23 Juli 2025

M. Akbar

NIM. 03041282126093

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT. Serta shalawat dan salam penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan para sahabat. Atas berkat dan rahmat serta ridho Allah SWT. Penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Implementasi Fuzzy Logic Control (FLC) Sebagai Sistem Kendali integrasi Posisi Keramba Jaring Apung dan *Autonomous Buoy*”.

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. Kedua orang tua serta kedua kakak dan adik penulis yang telah memberikan dukungan baik fisik/materil dan mental sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi dan tugas akhir ini.
2. Ibu Hera Hiekmarika, S.T, M.Eng selaku pembimbing utama tugas akhir ini yang telah memberikan bimbingan dan memberikan ilmu selama proses penulisan skripsi serta memberikan arahan kepada penulis selama masa perkuliahan.
3. Bapak Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T.,IPM. Ibu Dr.Ir. Eng. Suci Dwijayanti S.T., M.S., IPM. Bapak Irmawan, S.Si.M.T. Bapak Ir.Rendyansyah,S.Kom.,M.T.IPM. Bapak Ir. Baginda Oloan Siregar, S.T.,M.T. Sebagai dosen Teknik Kendali dan Robotika yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan.
4. Bapak Abu Bakar Sidik, S.T.,M.Eng.,Ph.D selaku ketua jurusan teknik Elektro Universitas Sriwijaya
5. Segenap dosen dan staff jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya.
6. Aditya Afriansyah dan Muhammad Krisna Kurnia sebagai tim dalam pengerjaan tugas akhir ini.
7. Teman-teman satu angkatan khususnya Teknik Kendali dan Robotika yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Teman-teman Klub Robotika Unsri yang selalu membantu dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Pada proses penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan karena keterbatasan penulis, oleh karena itu pembaca diharapkan memberikan kritik dan saran yang membangun agar menjadi evaluasi untuk penelitian kedepannya.

Palembang, 5 juli 2025



M. Akbar

03041282126093

ABSTRAK
IMPLEMENTASI *FUZZY LOGIC CONTROL* (FLC) SEBAGAI SISTEM
KENDALI INTEGRASI POSISI KERAMBA JARING APUNG DAN
AUTONOMOUS BUOY

(M. Akbar, 03041282126093, 2025, 122 Halaman)

Sebagai negara kepulauan dengan luas wilayah perairan dengan luas dua pertiga dari total wilayahnya, Indonesia berpotensi besar dalam pengembangan sektor perikanan. Keramba jaring apung merupakan salah satu metode budidaya perikanan yang efektif dalam sektor perikanan, namun KJA memiliki masalah karena bersifat statis sehingga sangat bergantung terhadap kualitas air ditempat tersebut. Untuk menjawab tantangan ini, Penelitian ini mengembangkan sistem kendali posisi berbasis *fuzzy logic controller* (FLC) untuk koordinasi pergerakan swarm antara KJA otomatis dan *autonomous buoy*. Sistem ini memanfaatkan data GPS (latitude dan longitude) untuk menentukan pergerakan menuju koordinat yang telah ditentukan dan menggunakan FLC untuk mengontrol nilai *pulse with modulation* (PWM) untuk menggerakkan aktuator. Pengujian pada penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan FLC tipe Sugeno dengan menggunakan jumlah fungsi keanggotaan sebanyak 7, 11, dan 15, serta akan dibandingkan performanya dengan metode *Proportional-Integral-Derivative* (PID). Hasil menunjukkan bahwa FLC dengan 15 *membership function* menghasilkan *error* dengan nilai terkecil yaitu dengan rata-rata 0.284 meter, diikuti oleh FLC dengan 11 *membership function* dengan rata-rata 0.314 meter, FLC dengan 7 *membership function* dengan rata-rata 0.42 meter dan PID dengan rata-rata 0.437 meter. Simulasi menggunakan *software* MATLAB juga menunjukkan bahwa peningkatan jumlah *member* pada FLC dapat meningkatkan stabilitas dan ketepatan posisi meskipun akan memperlambat respons sistem. Penelitian ini menunjukkan bahwa FLC mampu memberikan kontrol yang presisi dan adaptif dalam menjaga posisi.

Kata Kunci : *Autonomous Buoy, Floating Net Cage, FLC Type-1, Control*

ABSTRACT

IMPLEMENTATION OF FUZZY LOGIC CONTROL (FLC) AS A CONTROL SYSTEM FOR INTEGRATING THE POSISITION OF FLOATING NET CAGES AND AUTONOMOUS BUOY

(M. Akbar, 03041282126093, 2025, 122 Pages)

As an archipelagic country with two-thirds of its territory consisting of water, Indonesia holds significant potential in developing its fisheries sector. Floating Net Cages (KJA) are one of the effective aquaculture methods; however, conventional systems are static and heavily dependent on the water quality at a specific location. To address this challenge, this study develops a position control system based on a Fuzzy Logic Control (FLC) for coordinating swarm movements between automated KJA and autonomous buoys. The system utilizes GPS data (latitude and longitude) to determine movements toward predefined coordinates and employs FLC to control Pulse Width Modulation (PWM) signals for actuator motion. The testing in this research applies the Sugeno-type FLC approach using 7, 11, and 15 membership functions and compares its performance with the Proportional-Integral-Derivative (PID) method. The results show that FLC with 15 membership functions produces the smallest average error of 0.284 meters, followed by FLC with 11 membership functions with an average error of 0.314 meters, FLC with 7 membership functions with an average error of 0.42 meters, and PID with an average error of 0.437 meters. MATLAB-based simulations also showed that the increasing number of membership functions improves system stability and positioning accuracy, although it slightly slows the response time. This study shows that FLC is capable of providing precise and adaptive control of maintaining position.

Keyword : Autonomous Buoy, Floating Net Cage, FLC Type-1, Control

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN DOSEN	i
HALAMAN PERNYATAAN DOSEN.....	ii
PERNYATAAN PERSERUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Keaslian Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 <i>State Of The Art</i>	7
2.2 Keramba Jaring Apung	11
2.3 <i>Autonomous Buoy</i>	12
2.4 Sensor	13
2.4.1 <i>Global Positioning System (GPS)</i>	13
2.4.2 Sensor Kompas	14
2.4.3 Sensor Suhu	14
2.4.4 Sensor <i>Potencial of Hydrogen (pH)</i>	15
2.4.5 Sensor <i>Dissolved Oxygen (DO)</i>	15
2.5 <i>Lattitude dan Longitude</i>	15
2.6 <i>Bearing</i>	16
2.7 <i>Harvesine Formula</i>	17
2.8 Navigasi <i>Waypoint</i>	18

2.9	<i>Fuzzy Logic Controller (FLC)</i>	18
2.9.1	Himpunan <i>Fuzzy</i>	19
2.9.2	Fuzzifikasi	21
2.9.3	<i>Rule Base</i>	21
2.9.4	<i>Inference Engine</i>	22
2.9.5	Defuzzifikasi	22
BAB III METODE PENELITIAN		23
3.1	Studi Literatur	23
3.2	Perancangan Sistem	23
3.2.1	Perancangan Sistem Perangkat Keras	25
3.2.2	Perancangan Sistem Perangkat Lunak.....	27
3.2.2.1	Algoritma dan Pemrograman.....	28
3.3	Mekanisme Kontrol Posisi dan Formasi dan Navigasi <i>Waypoint</i>	29
3.4	Pengambilan Data	31
3.4.1	Pengambilan Data Untuk PID	32
3.4.2	Pengambilan Data Untuk <i>Fuzzy Logic</i>	32
3.5	Pengujian Sistem	37
3.5.1	Pengujian Posisi dan Formasi KJA dan <i>Buoy</i>	37
3.5.2	Pengujian <i>Tes Bed</i>	38
3.5.3	Pengujian Simulasi Sistem Kontrol Pada <i>Software MATLAB</i> ..	39
3.5.4	Pengujian <i>Realtime</i>	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		40
4.1	Perancangan Alat	40
4.2	Fungsi Keanggotaan Fuzzy Logic Control.....	41
4.3	<i>Fuzzy Rules</i>	48
4.4	Fuzzyfikasi	55
4.5	Tuning PID Sebagai Pembanding.....	56
4.6	Pengujian Sistem Fuzzy Logic pada MATLAB.....	58
4.6.1	Pemodelan Sistem Keramba Jaring Apung (KJA) Otomatis	58
4.6.2	Pemodelan Sistem Autonomous Buoy	63
4.6.3	Hasil Pengujian Simulasi Menggunakan MATLAB.....	68
4.6.3.1	Hasil pengujian simulasi MATLAB pada KJA otomatis...	68
4.6.3.2	Hasil pengujian simulasi MATLAB pada autonomous buoy	

4.7	Pengujian Pada Test Bed	73
4.7.1	Pengujian Performa Sistem Kendali Pada Test Bed	73
4.7.1.1	Pengujian Performa Dengan 7 Member	74
4.7.1.2	Pengujian Performa Dengan 11 Member	86
4.7.1.3	Pengujian Performa Dengan 15 Member	97
4.7.1.4	Pengujian Performa Dengan PID.....	109
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	121
5.1	Kesimpulan	121
5.2	Saran.....	122

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Blok Sistem Kontrol Kecepatan Motor DC [24].....	8
Gambar 2.2 Peta Pergerakan Robot Didalam Greenhouse [25].....	8
Gambar 2.3 Peta Simulasi Pergerakan Swarm Robot [26].	9
Gambar 2.4 <i>Heading</i> (H), <i>Bearing</i> (B), <i>Direction</i> (D), <i>North</i> (N) [27].....	10
Gambar 2.5 Arah (D) menuju <i>Set-Point</i> [27].....	11
Gambar 2.6 KJA Konvensional (a); <i>Autonomous</i> KJA (b).....	12
Gambar 2.7 <i>Autonomous Buoy</i> [29].....	12
Gambar 2.8 Tiga Segmen GPS [32].....	14
Gambar 2.9 Latitude dan Longitude [35].	16
Gambar 2.11 Representasi Fungsi Keanggotaan Linier Naik [40].	20
Gambar 2.12 Representasi Fungsi Keanggotaan Linier Turun [40].	20
Gambar 2.13 Representasi Fungsi Keanggotaan Segitiga [40].....	21
Gambar 2.14 Representasi Fungsi Keanggotaan Trapesium [40].....	21
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.	23
Gambar 3.2 Diagram Alir Cara Kerja Sistem.	25
Gambar 3.3 Desain <i>Autonomous</i> KJA.	26
Gambar 3.4 Desain <i>Autonomous Buoy</i>	27
Gambar 3.5 Diagram Alir KJA dan <i>Autonomous Buoy</i> . (A) Diagram Alir kontrol Formasi FLC, (b) Diagram Alir Kontrol Formasi PID, (c) Diagram Alir Navigasi Waypoint.....	30
Gambar 3.6 <i>Membership Funtion</i> Arah Hadap.....	33
Gambar 3.8 <i>Membership Function Output 3 Member</i>	35
Gambar 3.9 <i>Membership Function Output 5 Member</i>	36
Gambar 3.10 <i>Membership Function Output 7 Member</i>	37
Gambar 3.11 Formasi KJA dan Buoy	38
Gambar 4.1 Hasil Rancangan KJA (a), <i>Autonomous Buoy</i> (b), PCB (c).....	41
Gambar 4.2 Kurva Variabel Arah	41
Gambar 4.3 Kurva Jarak 7 Member	42
Gambar 4.4 Kurva Jarak 11 Member	44
Gambar 4.5 Kurva Jarak 15 Member	45

Gambar 4.6 Output Fuzzy dengan 35 rules.....	50
Gambar 4.7 Output Fuzzy dengan 55 rules.....	52
Gambar 4.8 Proses Fuzzifikasi.....	56
Gambar 4.9 Tuning PID untuk mencari Ku dan Pu	57
Gambar 4.10 Model sistem kendali KJA	63
Gambar 4.11 Model sitem kendali <i>autonomous buoy</i>	68
Gambar 4.12 Hasil pemodelan <i>autonomous buoy</i> pada MATLAB (a), Hasil grafik pemodelan <i>autonomous buoy</i> pada MATLAB	70
Gambar 4.13 Hasil pemodelan <i>autonomous buoy</i> pada MATLAB (a), Hasil grafik pemodelan <i>autonomous buoy</i> pada MATLAB	72
Gambar 4.14 Pergerakan formasi vertical (a), pergerakan formasi horizontal (b), pergerakan formasi L (c).....	74
Gambar 4.15 Pergerakan Test Bed 1 menggunakan 7 member horizontal.....	75
Gambar 4.16 Pergerakan Test Bed 2 menggunakan 7 member horizontal.....	76
Gambar 4.17 Pergerakan Test Bed 3 menggunakan 7 member horizontal.....	78
Gambar 4.18 Pergerakan Test Bed 1 menggunakan 7 member Vertikal	79
Gambar 4.19 Pergerakan Test Bed 2 menggunakan 7 member vertikal.....	80
Gambar 4.20 Pergerakan Test Bed 3 menggunakan 7 member vertikal.....	81
Gambar 4.21 Pergerakan Test Bed 1 menggunakan 7 member Formasi L	83
Gambar 4.22 Pergerakan Test Bed 2 menggunakan 7 member Formasi L	84
Gambar 4.23 Pergerakan Test Bed 3 menggunakan 7 member Huruf L	85
Gambar 4.24 Pergerakan Test Bed 1 menggunakan 11 member horizontal.....	87
Gambar 4.25 Pergerakan <i>Test Bed 2</i> menggunakan 11 <i>member</i> horizontal	88
Gambar 4.26 Pergerakan Test Bed 3 menggunakan 11 member Horizontal.....	89
Gambar 4.27 Pergerakan Test Bed 1 menggunakan 11 member Vertikal	91
Gambar 4.28 Pergerakan Test Bed 2 menggunakan 11 member vertikal.....	92
Gambar 4.29 Pergerakan Test Bed 3 menggunakan 11 member vertikal.....	93
Gambar 4.30 Pergerakan Test Bed 1 menggunakan 11 member Formasi L	94
Gambar 4.31 Pergerakan Test Bed 2 menggunakan 11 member Formasi L	96
Gambar 4.32 Pergerakan Test Bed 3 menggunakan 11 member Huruf L	97
Gambar 4.33 Pergerakan Test Bed 1 menggunakan 15 member horizontal.....	99
Gambar 4.34 Pergerakan Test Bed 2 menggunakan 15 member horizontal.....	100

Gambar 4.35 Pergerakan Test Bed 3 menggunakan 15 member Horizontal	101
Gambar 4.36 Pergerakan Test Bed 1 menggunakan 15 member Vertikal	102
Gambar 4.37 Pergerakan Test Bed 2 menggunakan 15 member vertikal	104
Gambar 4.38 Pergerakan Test Bed 3 menggunakan 15 member vertikal	105
Gambar 4.39 Pergerakan Test Bed 1 menggunakan 15 member horizontal	106
Gambar 4.40 Pergerakan Test Bed 2 menggunakan 7 member Formasi L	107
Gambar 4.41 Pergerakan Test Bed 3 menggunakan 15 member Huruf L	109
Gambar 4.42 Pergerakan Test Bed 1 menggunakan PID Formasi Horizontal ...	110
Gambar 4.43 Pergerakan Test Bed 2 menggunakan PID Formasi Horizontal ...	111
Gambar 4.44 Pergerakan Test Bed 3 Menggunakan PID Formasi Horizontal ...	112
Gambar 4.45 Pergerakan Test Bed 1 menggunakan PID Formasi Vertikal	114
Gambar 4.46 Pergerakan Test Bed 2 menggunakan 15 member vertikal	115
Gambar 4.47 Pergerakan Test Bed 3 PID vertikal	116
Gambar 4.48 Pergerakan Test Bed 1 PID Dengan Formasi L	117
Gambar 4.49 Pergerakan Test Bed 2 menggunakan PID Formasi L	118
Gambar 4.50 Pergerakan Test Bed 3 PID Formasi L	119

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Kualitas air berdasarkan pada Suhu.....	31
Tabel 3.2 Kualitas air berdasarkan pada Ph.....	31
Tabel 3.3 Kualitas air berdasarkan pada DO.....	31
Tabel 3.4 PID metode Ziegler-Nichols.....	32
Tabel 3.5 <i>Membership Function</i> Arah Hadap.....	33
Tabel 3.6 <i>Membership Function</i> Input Jarak <i>Waypoint</i>	34
Tabel 3.7 <i>Membership Function</i> Output PWM motor 3 member.....	36
Tabel 3.8 <i>Membership Function</i> Output PWM motor 3 member.....	36
Tabel 3.9 <i>Membership Function</i> Output PWM motor 3 member.....	36
Tabel 4.1 Aturan fuzzy pada input jarak sebanyak 7 member.....	48
Tabel 4.2 Aturan fuzzy pada input jarak sebanyak 11 member.....	50
Tabel 4.3 Aturan fuzzy pada input jarak sebanyak 15 member.....	53
Tabel 4.4 PID metode Ziegler-Nichols.....	55
Tabel 4.5 Hasil Simulasi MATLAB KJA.....	68
Tabel 4.6 Hasil Simulasi MATLAB <i>Autonomous Buoy</i>	70
Tabel 4.7 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 1 dengan 7 <i>Membership Function</i> Horizontal	74
Tabel 4.8 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 2 dengan 7 <i>Membership Function</i> Horizontal	76
Tabel 4.9 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 3 dengan 7 <i>Membership Function</i> Horizontal	77
Tabel 4.10 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 1 dengan 7 <i>Membership Function</i> Vertikal	78
Tabel 4.11 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 2 dengan 7 <i>Membership Function</i> Vertikal	79
Tabel 4.12 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 3 dengan 7 <i>Membership Function</i> Vertikal	80
Tabel 4.13 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 1 dengan 7 <i>Membership Function</i> Formasi L.....	81
Tabel 4.14 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 2 dengan 7 <i>Membership Function</i> Formasi	

L.....	83
Tabel 4.15 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 3 dengan 7 <i>Membership Function</i> Formasi L.....	84
Tabel 4.16 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 1 dengan 11 <i>Membership Function</i> Horizontal	86
Tabel 4.17 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 2 dengan 11 <i>Membership Function</i> Horizontal	87
Tabel 4.18 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 3 dengan 11 <i>Membership Function</i> Horizontal	88
Tabel 4.19 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 1 dengan 11 <i>Membership Function</i> Vertikal	90
Tabel 4.20 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 2 dengan 11 <i>Membership Function</i> Vertikal	91
Tabel 4.21 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 3 dengan 11 <i>Membership Function</i> Vertikal	92
Tabel 4.22 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 1 dengan 11 <i>Membership Function</i> Formasi L.....	94
Tabel 4.23 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 2 dengan 11 <i>Membership Function</i> Formasi L.....	95
Tabel 4.24 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 3 dengan 11 <i>Membership Function</i> Formasi L.....	96
Tabel 4.25 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 1 dengan 15 <i>Membership Function</i> Horizontal	98
Tabel 4.26 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 2 dengan 15 <i>Membership Function</i> Horizontal	99
Tabel 4.27 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 3 dengan 15 <i>Membership Function</i> Horizontal	100
Tabel 4.28 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 1 dengan 15 <i>Membership Function</i> Vertikal	102
Tabel 4.29 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 2 dengan 15 <i>Membership Function</i> Vertikal	103
Tabel 4.30 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 3 dengan 15 <i>Membership Function</i> Vertikal	

.....	104
Tabel 4.31 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 1 dengan 15 <i>Membership Function</i> Formasi L.....	106
Tabel 4.32 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 2 dengan 15 <i>Membership Function</i> Formasi L.....	107
Tabel 4.33 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 3 dengan 15 <i>Membership Function</i> Formasi L.....	108
Tabel 4.34 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 1 dengan PID Formasi Horizontal.....	109
Tabel 4.35 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 2 dengan PID Formasi Horizontal	110
Tabel 4.36 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 3 dengan PID Formasi Horizontal	111
Tabel 4.37 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 1 dengan PID Formasi Vertikal	113
Tabel 4.38 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 2 dengan PID Formasi Vertikal.....	114
Tabel 4.39 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 3 dengan PID Formasi Vertikal.....	115
Tabel 4.40 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 1 dengan PID Formasi L.....	116
Tabel 4.41 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 2 dengan PID Formasi L.....	118
Tabel 4.42 Hasil Pengujian <i>Test Bed</i> 3 dengan PID Formasi L.....	119

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai negara kepulauan, Indonesia memiliki sumber daya alam yang melimpah. Dengan luas wilayah perairan mencapai 5.8 juta km atau dua pertiga dari total luasnya, Indonesia terdiri lebih dari 17.000 pulau dan memiliki garis pantai sepanjang 81.000. Kekayaan alam yang terdiri di wilayah ini memberikan peluang besar bagi kesejahteraan masyarakat serta peluang mendukung visi Indonesia sebagai poros maritim dunia[1]. Dengan wilayah perairan yang luas dan beragam, Indonesia diperkirakan memiliki sumberdaya perikanan mencapai 274,377 juta ton per tahun. Potensi ini membuka peluang bagi pengembangan sektor perikanan yang berkelanjutan, meningkatkan kesejahteraan nelayan, serta memperkuat ketahanan pangan nasional[2]. Sektor perikanan memiliki peranan penting dalam memenuhi kebutuhan hewan global, dimana 15.3% dari total protein hewani global berasal dari sektor perikanan[3]. Untuk memenuhi kebutuhan konsumsi ikan yang terus meningkat, dibutuhkan metode budidaya yang terencana dan berkelanjutan. Keramba Jaring Apung (KJA) menjadi salah satu solusi efektif dalam sistem budidaya perikanan, karena memungkinkan pemeliharaan ikan dalam lingkungan yang terkontrol[4].

Keramba Jaring Apung (KJA) adalah sistem budidaya perikanan yang memanfaatkan struktur apung untuk memelihara ikan di perairan terbuka, seperti danau, waduk, atau laut. Metode ini memungkinkan sirkulasi air yang baik, sehingga memastikan pasokan oksigen yang cukup dan membantu menjaga kualitas air. Dengan menciptakan lingkungan yang lebih alami, KJA mendukung pertumbuhan ikan secara optimal, sekaligus memberikan peluang bagi pengembangan sector perikanan yang lebih efisien[4]. Namun, kualitas air yang buruk dapat menyebabkan stres pada ikan, meningkatkan jumlah patogen, dan berpotensi menyebabkan kematian massal, sehingga menjaga kualitas air menjadi

faktor penting dalam keberhasilan budidaya[10]. Untuk mengatasi tantangan dalam pemantauan kualitas air, diperlukan penerapan Keramba Jaring Apung (KJA) otomatis yang dilengkapi dengan *autonomous buoy* yang dapat bergerak secara mandiri dan memantau kondisi lingkungan secara dinamis. KJA otomatis ini akan menggantikan peran manusia dalam memantau suhu, kadar pH, dan oksigen terlarut (DO), serta mengatur posisi KJA dan menjaga formasi serta jarak antara KJA dan *bouy* agar dapat berfungsi dengan baik, KJA dan *autonomous buoy* akan dilengkapi dengan sensor dan aktuator untuk memantau kualitas air dan posisi serta mencari lokasi dengan kondisi perairan yang lebih baik. Proses ini dilakukan dengan membandingkan data kualitas air yang terdeteksi oleh sensor pada *buoy* dan KJA.

Terdapat beberapa penelitian yang telah membahas mengenai Keramba jarring apung dan *autonomous buoy*. Pada penelitian [7] dilakukan kualitas air disekitar KJA menggunakan indikator berupa pH, *dissolved oxygen* (DO), nitrat, nitrit, dan ammonia. Penelitian [8] melakukan analisa terhadap ketahanan struktur KJA terhadap arus laut. Penelitian [9] melakukan implementasi *Internet Of Things* (IOT) untuk melakukan pengamatan terhadap kualitas air menggunakan sensor pH, turbidity, suhu, dan *dissolved oxygen* (DO). Penelitian [10] melakukan penggabungan data simulasi numerik dan machine learning yang bertujuan untuk menghasilkan model *machine learning* yang menghasilkan data *real-time* mengenai kondisi laut disekitar KJA. Penelitian [11] memanfaatkan teknologi *deep learning* dengan arsitektur *Convolutional Neural Network* (CNN) untuk menganalisa kondisi lubang pada jaring keramba. Penelitian [12] melakukan klasifikasi terhadap tingkat kebersihan jaring keramba dengan memanfaatkan teknologi *computer vision* berupa model YOLOv8. Penelitian [13] membuat rancangan GPS Intelligent Buoy (GIB) untuk *Autonomous Underwater Vehicle* (AUV) sebagai sistem penentu posisi, GIB menggunakan kontrol prediktif berbasis umpan balik (*state feedback predictive control*) untuk mengurangi *noise* dan *delay* pengukuran. Penelitian [14] mengaplikasikan algoritma *Tuna Swarm Optimizer* dalam sistem *multi-buoy* untuk meningkatkan efektivitas observasi laut.

Penelitian sebelumnya hanya memfokuskan pada Keramba Jaring Apung atau *autonomous buoy* saja. Namun, pada penerapannya Keramba Jaring Apung otomatis dan Buoy memiliki keterikatan yang erat. KJA tidak hanya berfungsi untuk memonitor kualitas air, pH, dan kadar oksigen pada lokasi budidaya saja, tetapi juga untuk mempertahankan posisi dan bergerak secara otomatis berdasarkan parameter yang telah ditentukan melalui koordinasi dengan *autonomous buoy*. Sehingga tercipta kondisi yang lingkungan yang lebih stabil. Selain itu, pergerakan *autonomous buoy* dan KJA otomatis dapat dikendalikan menggunakan sistem navigasi berbasis GPS. Trajektori pergerakan keduanya dirancang agar saling berkoordinasi, memungkinkan KJA untuk mempertahankan posisinya secara optimal serta menyesuaikan lokasi berdasarkan parameter lingkungan yang terdeteksi oleh buoy. Sejauh ini, ada beberapa macam sistem kontrol posisi dan sistem kontrol untuk mempertahankan posisi dan membentuk formasi yang telah ditentukan, seperti kontrol *Proporsional Integral Derivative* [15], dan ada juga penelitian yang menggunakan sistem Fuzzy Logic Controller (FLC) [16]. Pada [15] Kontrol PID digunakan untuk pengendalian kecepatan pada robot mobil beroda (*wheeled mobile robots*). Pada [17] mengaplikasikan kontrol PID pada *mobile robot* empat roda menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) yang digunakan untuk melakukan pelacakan trajektori. Pada [18] kontrol PID digunakan untuk mengoptimalkan pergerakan arm robot. Pada [19] mengaplikasikan *Fuzzy Neural Network* untuk trajektori pada robot *Quadruped*. Pada [16] menggabungkan *fuzzy model-based multi-objective dynamic* dengan *modified particle swarm optimization* (MPSO) untuk meningkatkan stabilitas dan adaptabilitas sistem. Pada [20] mengintegritaskan *fuzzy cognitive maps* (FCSM) yang digunakan untuk pengambilan keputusan yang adaptif pada navigasi mobile robot.

Pada penelitian ini akan dikembangkan metode yang dapat bekerja untuk mengontrol posisi KJA dan *autonomous buoy*, mempertahankan posisi pada set point dan trajektori tracking. Penelitian ini menggunakan Fuzzy Logic Controller (FLC). Metode ini mengatur gerak Keramba Jaring Apung (KJA) dan *autonomous buoy* berdasarkan pada posisi latitude dan longitude yang didapatkan dari GPS.

Output yang dihasilkan berupa sinyal *pulse width modulation* (PWM) untuk mengatur tingkat kecepatan aktuator atau motor DC.

1.2 Rumusan Masalah

Kondisi air yang tidak optimal merupakan tantangan utama bagi KJA karena dampaknya dapat mengganggu budidaya ikan air tawar bahkan menyebabkan kematian ikan. Oleh karena itu, kemampuan Keramba Jaring Apung untuk berpindah lokasi ketika kualitas air menurun sangat penting, selain harus dapat menjaga posisinya secara stabil. Untuk mencapai hal tersebut, digunakan *Fuzzy Logic Controller* (FLC) dalam mengatur posisi swarm antara KJA dan *autonomous buoy* agar mencapai *set-point* data GPS (latitude dan longitude).

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem kendali posisi berbasis *Fuzzy Logic Controller* (FLC) untuk swarm Keramba Jaring Apung (KJA) dan *autonomous buoy* agar dapat bergerak menuju koordinat yang telah ditentukan. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk melihat performa *Fuzzy Logic Controller* (FLC) dalam mengkonversi sinyal control menjadi output PWM yang presisi, mempertahankan formasi, serta menjaga jarak antar perangkat.

1.4 Batasan Masalah

Untuk menjaga penelitian ini tetap berfokus dan tidak menyimpang dari ruang lingkup yang seharusnya, maka penelitian ini memiliki batasan sebagai berikut:

1. Menggunakan *Fuzzy Logic Type-1* untuk kontrol posisi dan formasi pada pergerakan KJA dan *swarm buoy*.
2. Penelitian dilakukan di perairan darat.
3. Pemantauan posisi KJA dan *swarm buoy* berdasarkan *longitude* dan *latitude* KJA dan *autonomous buoy*.

1.5 Keaslian Penelitian

Terdapat sejumlah penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan KJA dan *buoy* termasuk penerapan sistem kontrol PID dan *Fuzzy*. Dalam penelitian yang

dilakukan oleh Nugraha, Prabu Nandi membahas mengenai sistem kendali posisi pada *autonomous buoy* dengan memanfaatkan metode kendali *fuzzy logic type-2* sebagai metode pengendali adaptif untuk menjaga posisi dan formasi *autonomous buoy* terhadap ketidakpastian lingkungan perairan. *Fuzzy logic* pada *autonomous buoy* memanfaatkan data *longitude* dan *latitude* dari GPS serta arah heading sebagai variabel masukan dalam *membership function*, yang kemudian diproses untuk menentukan besaran koreksi pada *autonomous buoy*. Pengendalian ini bertujuan untuk menjaga formasi dan posisi *autonomous buoy* secara optimal [21].

Penelitian yang dilakukan oleh Q. Liu dan M. Li, membahas mengenai GPS Intelligent Buoy (GIB) sebagai penentu posisi untuk Autonomous Underwater Vehicle (AUV) dengan menggunakan kontrol prediktif berbasis umpan balik (*state feedback predictive control*) guna mengurangi noise dan delay pengukuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keterlambatan pengukuran yang signifikan dapat menghambat kemampuan AUV dalam mencapai titik target, sementara keterlambatan lebih kecil memungkinkan kinerja yang lebih baik. Dalam implementasi GIB, akurasi pelacakan posisi AUV dapat ditingkatkan melalui pengurangan kesalahan akar rata-rata kuadrat (RMS) serta efisiensi waktu perhitungan lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional seperti Model Prediktif Kontrol (MPC). Selain itu, penggunaan GIB membantu menstabilkan sistem pelacakan dan meningkatkan efisiensi energi dengan mengurangi magnitude sinyal control, sehingga memperpanjang waktu operasional AUV [13].

Penelitian yang dilakukan oleh N, Hambali dkk. Membahas mengenai pemantauan kualitas air pada Keramba Jaring Apung (KJA) menggunakan pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk meningkatkan efisiensi dalam budidaya ikan. Sistem ini menggunakan berbagai sensor, seperti sensor pH untuk mengukur tingkat keasaman air, sensor kekeruhan (*turbidity*) untuk mendeteksi partikel tersuspensi, sensor suhu untuk memantau perubahan temperatur, serta sensor *dissolved oxygen* (DO) yang berperan dalam mengukur kadar oksigen terlarut, yang sangat penting bagi kelangsungan hidup ikan. Data yang dikumpulkan yang dikumpulkan oleh sensor dikirim secara *real-time* melalui modul wifi ke aplikasi *mobile*, memungkinkan pemantauan instan dan respons cepat jika parameter kualitas air menyimpang dari standar yang ditentukan [9].

Penelitian yang dilakukan oleh R. Ren dkk. Membahas mengenai pengoptimalan sistem multi buoy di lingkungan laut untuk meningkatkan kemampuan observasi dan efisiensi komunikasi. Model yang dikembangkan mengintegrasikan perilaku mencari makanan dari kawanan tuna, kalkulus orde-fraksional, serta faktor lingkungan untuk meningkatkan efektivitas observasi buoy. Metode yang digunakan adalah *Improved Tuna Swarm Optimization (ITSFO)*, menggabungkan pemetaan secara acak untuk meningkatkan keragaman solusi guna memperkuat kemampuan pencarian algoritma dalam mengoptimalkan penempatan buoy.

Penelitian yang dilakukan oleh N. Basil dkk, berfokus pada penerapan dan optimasi pengendali pid untuk lengan robot untuk mencapai pelacakan trajektori yang akurat, dengan mengembangkan model matematis melalui analisis kinematika maju dan mundur untuk memahami pergerakan lengan, serta mengoptimalkan parameter PID menggunakan algoritma Social Spider Optimization (SSO) dan teknik fuzzy guna mengurangi kesalahan keadaan. Penelitian ini dilakukan dengan cara simulasi menggunakan *software* MATLAB R2021a yang menunjukkan bahwa pengendali PID yang dioptimalkan menghasilkan peningkatan signifikan dalam stabilitas dan akurasi pelacakan trajektori [18].

Selanjutnya pada penelitian yang dilakukan oleh Y. Sun dkk, mengembangkan model *fuzzy* untuk sistem kontrol non-linear, khususnya dalam keseimbangan robot sepeda. Model sistem non-linear diubah menjadi *fuzzy*, memungkinkan perancangan pengontrol *fuzzy* berdasarkan aturan *fuzzy* yang sama. Model *fuzzy* descriptor digunakan untuk memverifikasi persamaan loop tertutup *fuzzy* guna memastikan stabilitas sistem. Untuk mengoptimalkan gain umpan balik, penelitian ini menerapkan teknik *Modified Particle Swarm Optimizer (MPSO)* dalam dua tahap : pertama, menemukan populasi awal gain yang memenuhi kriteria Hurwitz, dan kedua, mengembangkan fungsi multi-objektif yang menggabungkan kriteria Hurwitz dengan teknik *crossover* guna mempercepat iterasi serta meningkatkan efektivitas partikel gain yang dihasilkan. Pendekatan ini menunjukkan bagaimana model *fuzzy* dapat digunakan untuk merancang kontrol yang lebih efektif dalam sistem yang kompleks dan non-linear [16]

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Nikawanti, "Ecoliteracy : Membangun Ketahanan Pangan dari Kekayaan Maritim Indonesia," *J. Kemaritiman Indones. J. Marit.*, vol. 2, no. 2, pp. 149–166, 2021, doi: 10.17509/ijom.v2i2.37603.
- [2] H. Tejo and T. Pabendon, "Analisis Potensi Pengembangan Perikanan Budidaya Ikan Air Tawar di Kabupaten Mimika," *J. Krit.*, vol. 6, no. 1, p. 30, 2022.
- [3] C. E. Boyd, A. A. McNevin, and R. P. Davis, "The contribution of fisheries and aquaculture to the global protein supply," *Food Secur.*, vol. 14, no. 3, pp. 805–827, 2022, doi: 10.1007/s12571-021-01246-9.
- [4] Y. Yolanda, L. H. Maniza, and A. Hafiz, "Analisis Pendapatan Budidaya Lobster Sistem Keramba Jaring Apung (Kja) Di Desa Pulau Maringkik Kecamatan Keruak Kabupaten Lombok Timur," *J. Appl. Bus. Bank.*, vol. 3, no. 1, p. 1, 2022, doi: 10.31764/jabb.v3i1.7373.
- [5] N. L. Mauliddiyah, "IDENTIFIKASI PARASIT IKAN KERAPU SUNU (*Plectropomus leopardus*) PADA BUDIDAYA KERAMBA JARING APUNG DI DESA TETOAT KECAMATAN HOAT SORBAY KABUPATEN MALUKU TENGGARA SKRIPSI," p. 6, 2021.
- [6] J. Beno, A. . Silen, and M. Yanti, "Diagnosa penyakit dan analisis kualitas air untuk kesehatan ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) yang dipelihara pada keramba jaring apung," *Braz Dent J.*, vol. 33, no. 1, pp. 1–12, 2022.
- [7] D. Arisanty, K. P. Hastuti, S. Adyatma, and M. Azhari, "The impact of floating net cages on the water quality of riam kanan reservoir, south kalimantan," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 747, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/747/1/012040.
- [8] F. Syalsabila, R. W. Prastianto, Y. S. Hadiwidodo, A. H. Adaalalah, and M. R. Syarifudin, "Structural Analysis of Floating Net Cage Bracket in Current and Wave," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 972, no. 1,

2022, doi: 10.1088/1755-1315/972/1/012017.

- [9] N. Hambali *et al.*, “An In-depth Review of the Critical Water Analysis Parameter and Water Quality Management Technology in Cage Aquaculture within Malaysian Coastal Regions,” *J. Kejuruter.*, vol. 36, no. 3, pp. 861–875, 2024.
- [10] H. Skauen, “Machine learning based digital twin framework for aquaculture net cage system,” no. June, 2022.
- [11] A. Madshaven, R. Spatiotemporal, D. Learning, A. Computer, and V. Techniques, “Robust Fish Cage Hole Detection in Challenging Environments,” no. May, 2021.
- [12] N. A. Lestari, I. Jaya, A. Rahmat, and T. Hestirianoto, “Classification of KJA Net Conditions Using ROV and Computer Vision,” vol. x, no. x, pp. 1–12, doi: 10.22146/ijeis.xxxx.
- [13] Q. Liu and M. Li, “Tracking Control Based on GPS Intelligent Buoy System for an Autonomous Underwater Vehicles Under Measurement Noise and Measurement Delay,” *Int. J. Comput. Intell. Syst.*, vol. 16, no. 1, pp. 1–17, 2023, doi: 10.1007/s44196-023-00209-6.
- [14] R. Ren, L. Zhang, G. Pan, X. Zhang, L. Liu, and G. Han, “Multi-Buoy Deployment Method Based on an Improved Tuna Swarm Optimizer Enhanced with Fractional-Order Calculus Method for Marine Observation,” *Fractal Fract.*, vol. 8, no. 11, 2024, doi: 10.3390/fractalfract8110625.
- [15] H. Khan, S. Khatoon, P. Gaur, M. Abbas, C. A. Saleel, and S. A. Khan, “Speed Control of Wheeled Mobile Robot by Nature-Inspired Social Spider Algorithm-Based PID Controller,” *Processes*, vol. 11, no. 4, 2023, doi: 10.3390/pr11041202.
- [16] Y. Sun, H. Zhao, Z. Chen, X. Zheng, M. Zhao, and B. Liang, “Fuzzy model-based multi-objective dynamic programming with modified particle

swarm optimization approach for the balance control of bicycle robot,” *IET Control Theory Appl.*, vol. 16, no. 1, pp. 7–19, 2022, doi: 10.1049/cth2.12199.

- [17] B. Gökçe, Y. B. Koca, Y. Aslan, and C. O. Gökçe, “Particle swarm optimization-based optimal pid control of an agricultural mobile robot,” *Comptes Rendus L’Academie Bulg. des Sci.*, vol. 74, no. 4, pp. 568–575, 2021, doi: 10.7546/CRABS.2021.04.12.
- [18] N. Basil and H. Kasim, “PID Controller with Robotic Arm using Optimization Algorithm,” *Int. J. Mech. Eng.*, vol. 7, no. 2, pp. 3746–3751, 2022.
- [19] J. Hu, “Research on Robot Fuzzy Neural Network Motion System Based on Artificial Intelligence,” *Comput. Intell. Neurosci.*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/4347772.
- [20] J. Vaščák, L. Pomšár, P. Papcun, E. Kajáti, and I. Zolotová, “Means of IoT and fuzzy cognitive maps in reactive navigation of ubiquitous robots,” *Electron.*, vol. 10, no. 7, 2021, doi: 10.3390/electronics10070809.
- [21] N. P. Nugraha, “IMPLEMENTASI FUZZY LOGIC CONTROL TYPE-2 SEBAGAI SISTEM KENDALI POSISI PADA AUTONOMOUS BUOY.”
- [22] Y. G. Rashid and A. M. A. Hussain, “Implementing optimization of PID controller for DC motor speed control,” *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 23, no. 2, pp. 657–664, 2021, doi: 10.11591/ijeecs.v23.i2.pp657-664.
- [23] F. Cañadas-Aránega, J. C. Moreno, and J. L. Blanco-Claraco, “A PID-based control architecture for mobile robot path planning in greenhouses,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 58, no. 7, pp. 502–507, 2024, doi: 10.1016/j.ifacol.2024.08.112.
- [24] T. Nhu, P. D. Hung, V. A. Ho, and T. D. Ngo, “Fuzzy-Based Distributed Behavioral Control with Wall-Following Strategy for Swarm Navigation in

Arbitrary-Shaped Environments,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 139176–139185, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3119232.

- [25] A. Boj med GNSS ERIK ANDERBERG MARTIN OLANDERS, “RoBuoy Dynamic Positioning of an Autonomous Buoy using GNSS Dynamisk Positionering av en,” 2021.
- [26] B. N. Hidayati, D. Darsono, and U. Barokah, “Analisis Usaha Budi Daya Ikan Nila Menggunakan Keramba Jaring Apung (Kja) Dan Pemasarannya Di Kabupaten Sragen,” *Bul. Ilm. Mar. Sos. Ekon. Kelaut. dan Perikan.*, vol. 6, no. 2, p. 145, 2020, doi: 10.15578/marina.v6i2.8233.
- [27] F. Vallegra, D. Mateo, G. Tokic, R. Bouffanais, and D. K. P. Yue, “Gradual Collective Upgrade of a Swarm of Autonomous Buoys for Dynamic Ocean Monitoring,” *Ocean. 2018 MTS/IEEE Charleston, Ocean 2018*, no. October, 2019, doi: 10.1109/OCEANS.2018.8604642.
- [28] D. J. Yeong, G. Velasco-hernandez, J. Barry, and J. Walsh, “Sensor and sensor fusion technology in autonomous vehicles: A review,” *Sensors*, vol. 21, no. 6, pp. 1–37, 2021, doi: 10.3390/s21062140.
- [29] M. A. Munadi, M. Said, and Z. Arifin, “Analysis of Control Management to the Public Transport Drivers Using Global Positioning System (GPS),” *2nd ITB Grad. Sch. Conf. 2022*, pp. 50–73, 2022, doi: 2963-718X.
- [30] Fitro and H. Suhud, “Rancang Bangun Sistem Informasi Persewaaan Alat Berat Berbasis Web dengan GPS Tracker,” *Inform. J. Tek. Inform. dan Multimed.*, vol. 2, no. 1, pp. 11–25, 2022, doi: 10.51903/informatika.v2i1.135.
- [31] R. N. Fauzan and M. S. Zuhrie, “Sistem Navigasi Autonomous Pada Prototipe Kapal dengan Sensor GPS dan Kompas,” *J. Informatics Comput. Sci.*, vol. 5, no. 04, pp. 646–654, 2024, doi: 10.26740/jinacs.v5n04.p646-654.
- [32] F. Chuzaini and Dzulkiflih, “IoT Monitoring Kualitas Air dengan

Menggunakan Sensor Suhu , pH , dan Total Dissolved Solids (TDS),” *J. Inov. Fis. Indones.*, vol. 11, no. 3, pp. 46–56, 2022.

- [33] M. A. Satriyo, “Tinjauan Pustaka Dan Dasar Teori Statistik,” vol. 151, pp. 10–17, 2022, [Online]. Available: [https://repository.unikom.ac.id/60158/1/STAT 03 %28Penyajian Data%29.pdf](https://repository.unikom.ac.id/60158/1/STAT%2003%28Penyajian%20Data%29.pdf)
- [34] T. Supriyadi *et al.*, “Alat Bantu Koordinasi Jarak Dan Posisi Disabilitas Netra Berbasis Radio Frekuensi Menggunakan Haversine-Bearing,” *J. Rekayasa Hijau*, vol. 6, no. 2, pp. 141–153, 2022, doi: 10.26760/jrh.v6i2.141-153.
- [35] M. F. Mahatmi, T. Hasanuddin, and F. Umar, “Implementasi Metode Haversine Formula Untuk Menentukan Jarak Terdekat Pada Pengantaran Air Galon Depot Anantama Berbasis Android,” *Bul. Sist. Inf. dan Teknol. Islam*, vol. 3, no. 1, pp. 69–78, 2022, doi: 10.33096/busiti.v3i1.1098.
- [36] P. Cendi and P. Ardi, “Media Pembelajaran Himpunan Fuzzy Berbasis Multimedia,” *J. Sarj. Tek. Inform.*, vol. 2, no. 2, pp. 1176–1184, 2014.
- [37] A. I. Soehartono and B. Suprianto, “Sistem Kontrol Mini Lift Barang Menggunakan Fuzzy Logic Controller Sebagai Pengendali Kecepatan Motor Dc Berbasis Labview,” *J. Tek. Elektro*, vol. 09, pp. 203–211, 2020.