

**DISERTASI**

**PERANCANGAN SISTEM KERAMBA JARING APUNG  
(KJA) *AUTONOMOUS* PADA BUDIDAYA PERIKANAN  
BERBASIS FUZZY LOGIC**



**ROZEFF PRAMANA  
NIM 03013681924005**

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2024**

**DISERTASI**

**PERANCANGAN SISTEM KERAMBA JARING APUNG  
(KJA) *AUTONOMOUS* PADA BUDIDAYA PERIKANAN  
BERBASIS FUZZY LOGIC**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Doktor Ilmu Teknik pada Universitas Sriwijaya



**ROZEFF PRAMANA  
NIM 03013681924005**

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2024**

## HALAMAN PENGESAHAN

# PERANCANGAN SISTEM KERAMBA JARING APUNG (KJA) AUTONOMOUS PADA BUDIDAYA PERIKANAN BERBASIS FUZZY LOGIC

## DISERTASI

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Doktor Ilmu Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

**ROZEFF PRAMANA**  
**03013681924005**

Indralaya, 12 Januari 2024

Promotor



Prof. Ir. Zainuddin Nawawi, Ph.D., IPU.  
NIP. 195903031985031004

Co-Promotor



Dr. Bhakti Yudho Suprpto, ST., MT  
NIP. 197502112003121002

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik



Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, MT  
NIP. 196706151995121002

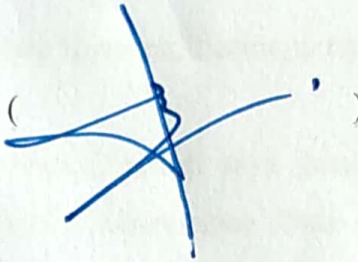
## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Disertasi dengan judul "Perancangan Sistem Keramba Jaring Apung (KJA) *Autonomous* Pada Budidaya Perikanan Berbasis Fuzzy Logic" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada Tanggal 12 Januari 2024.

Indralaya, 12 Januari 2024

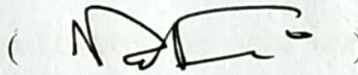
Tim Penguji Karya tulis ilmiah berupa Disertasi  
Ketua:

Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, MT  
NIP. 196706151995121002

(  )

Penguji:

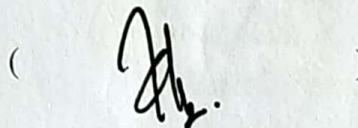
1. Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.  
NIP. 195903211987031001

(  )

2. Dr. Eng. Tresna Dewi, ST., M.Eng.  
NIP. 197711252000032001

(  )

3. Dr. Eng. Suci Dwijayanti, ST., MS.  
NIP. 198407302008122001

(  )

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik

Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, MT  
NIP. 196706151995121002



Ketua Program Studi

Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.  
NIP. 195903211987031001



## HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rozeff Pramana  
NIM : 03013681924005  
Program Studi : Doktor Ilmu Teknik  
BKU : Teknik Elektro  
Alamat Rumah : Jl. Adi Sucipto no. 47 km.11 Pinang Kencana, Tanjungpinang-Kepri

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Disertasi saya yang berjudul “Perancangan Sistem Keramba Jaring Apung (KJA) *Autonomous* Pada Budidaya Perikanan Berbasis Fuzzy Logic” merupakan hasil karya sendiri didampingi Promotor dan Co-Promotor dan bukan hasil plagiat.

Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Disertasi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Inderalaya, Januari 2024



Rozeff Pramana

NIM.03013681924005

## KATA PENGANTAR

*Assalaamu'alaikum Warohmatullohi Wabarokaatuh*

*Alhamdulillah*, Puji dan Syukur penulis atas rahmat, karunia dan ridho Allah SWT, sehingga dapat menyelesaikan Disertasi yang berjudul Perancangan Sistem Keramba Jaring Apung (KJA) *Autonomous* Pada Budidaya Perikanan Berbasis Fuzzy Logic.

Dalam menyelesaikan karya ilmiah ini, banyak pihak yang telah membantu dan membimbing penulis. Pada kesempatan ini, dengan kerendahan hati dan penuh hormat perkenankan penulis untuk menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setingginya kepada Yth:

1. Bapak Prof. Ir. Zainuddin Nawawi, Ph.D, IPU selaku Promotor yang telah menyediakan waktu, pikiran dan arahan dalam membimbing, serta memberikan inspirasi dan motivasi yang membangun selama penyusunan Disertasi ini.
2. Bapak Dr. Bhakti Yudho Suprpto, ST.,MT selaku Ko-Promotor yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran serta memberikan arahan dan motivasi yang membangun selama pembimbingan.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T. selaku Koordinator Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor Fakultas Teknik UNSRI dan juga sebagai tim penguji yang telah memberikan masukan dan motivasi yang membangun bagi penelitian ini.
4. Ibu Dr. Eng. Suci Dwijayanti, ST., MS. sebagai tim Penguji yang memberikan masukan dan saran yang membangun bagi penelitian ini.
5. Ibu Dr. Eng. Tresna Dewi, ST., M.Eng. sebagai tim Penguji yang memberikan masukan dan saran yang membangun bagi penelitian ini.
6. Staf administrasi Ilmu Teknik Program Doktor FT UNSRI.
7. Serta teman-teman seangkatan dan seperjuangan.

Disertasi ini penulis persembahkan untuk keluarga tercinta; Ayahnda (alm) Drs. H. M. Effendi. AB, ibunda Roziah Azis dan ibunda Farida (mertua), istri tercinta Erlyna Indakasih dan anak-anakku Arkanu Zefflyn Melavu, Dzimar Zefflyn Rafisqy dan Zayed

Zefflyn Albifardzan. Terimakasih atas do'a, perhatian, kasih sayang dan pengorbanan yang telah diberikan yang menjadi motivasi penulis menyelesaikan studi ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Disertasi ini masih terdapat kekurangan dan kekeliruan. Oleh karena itu, masukan dan saran yang membangun sangat penulis diharapkan sebagai referensi dimasa yang akan datang.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih dan berharap kepada Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu.

*Assalaamu'alaikum Warohmatullohi Wabarokaatuh*

Palembang, Januari 2024  
Penulis,

Rozeff Pramana

## RINGKASAN

### PERANCANGAN SISTEM KERAMBA JARING APUNG (KJA) *AUTONOMOUS* PADA BUDIDAYA PERIKANAN BERBASIS FUZZY LOGIC

Karya tulis ilmiah berupa Disertasi, Januari 2024

Rozeff Pramana; Dibimbing oleh Prof. Ir. Zainuddin Nawawi, Ph.D., IPU dan Dr. Bhakti Yudho Suprpto, ST.,MT.

Design Of *Autonomous* Floating Cage System In Fisheries Cultivation Based On Fuzzy Logic

xv + 111 halaman, 21 tabel, 48 gambar, 1 lampiran

#### RINGKASAN

Produksi ikan tangkap yang semakin berkurang, menjadikan produksi ikan budidaya prospek yang menjanjikan. Seiring dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk, produksi ikan secara global diproyeksi akan mengalami peningkatan menjadi 187 juta ton pada tahun 2030, dan 62% diantaranya adalah dari hasil produksi budidaya perikanan. Keramba Jaring Apung (KJA) merupakan suatu metode pemeliharaan ikan budidaya yang banyak diterapkan secara tradisional. KJA bisa digunakan diperairan danau, waduk, sungai dan bahkan dilaut. Faktor utama yang perlu diperhatikan dalam budidaya menggunakan KJA adalah kualitas air, kondisi lingkungan dan kondisi cuaca disekitar perairan lokasi KJA berada. Baik atau buruknya kualitas air pada KJA tradisional ditentukan dengan melihat warna air, keadaan ikan dan insting nelayan. Bila ada kematian pada ikan budidaya atau kondisi cuaca yang buruk, pelaku budidaya akan memindahkan KJA secara manual yaitu menariknya menggunakan kapal motor.

Penelitian ini merancang sistem KJA *Autonomous* yang bergerak secara otomatis merespon perairan yang kualitas airnya buruk serta memonitoring KJA dari jarak jauh. Sistem KJA terdiri dari sistem sensor kualitas air, sistem kontrol *Autonomous* dan sistem monitoring. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan sistem kontrol KJA *Autonomous* untuk menghindari kualitas air yang buruk pada suatu perairan dan memberikan kemudahan monitoring kualitas air serta kondisi disekitar KJA secara efektif dan efisien. KJA berpindah secara otomatis bila kualitas air perairan melampaui ambang batas *Set point* yang telah diprogram pada Arduino. *Set point* ditetapkan dari nilai standar parameter temperature, Dissolved Oxygen dan pH kualitas air untuk budidaya ikan. Sensor terdiri dari sensor temperature, DO, pH, TDS, EC, Turbidity, Anemometer, wind direction, sensor tegangan dan kamera untuk pemantauan visual permukaan KJA maupun didalam air. Metode sistem kontrol yang dibangun berbasis *Fuzzy Logic Type-1*. Sistem monitoring KJA memungkinkan kualitas air perairan dan kondisi visual disekitar KJA dapat dipantau secara *real time* dari jarak jauh menggunakan aplikasi berbasis internet. Penelitian ini diharapkan dapat mengurangi resiko serta meminimalkan kerugian materil atas perubahan kualitas air dan cuaca yang buruk yang terjadi pada usaha budidaya perikanan menggunakan KJA.

**Kata Kunci:** Sistem KJA *Autonomous*, Teknologi KJA, Fuzzy Logic Type-1, Kualitas air, Monitoring jarak jauh.



## ***SUMMARY***

### DESIGN OF *AUTONOMOUS* FLOATING NET CAGES (FNC) SYSTEM IN FISHERIES CULTIVATION BASED ON FUZZY LOGIC

Scientific Paper in the form of Dissertation, January 2024

Rozeff Pramana; supervised by Prof. Ir. Zainuddin Nawawi, Ph.D., IPU and Dr. Bhakti Yudho Suprpto, ST.,MT.

Perancangan Sistem Keramba Jaring Apung (KJA) *Autonomous* Pada Budidaya Perikanan Berbasis Fuzzy Logic

xv + 111 pages, 21 table, 48 Pictures, 1 Attachment

#### SUMMARY

The decreasing production of captured fish makes the production of cultivated fish a promising prospect. Along with increasing population growth, global fish production is projected to increase to 187 million tonnes in 2030, and 62% of this is from aquaculture production. Floating Net Cages (FNC) is a method of raising cultivated fish that is widely applied traditionally. FNC can be used in lakes, reservoirs, rivers and even at sea. The main factors that need to be considered when cultivating using FNC are water quality, environmental conditions and weather conditions around the waters where the FNC is located. Good or bad water quality in traditional marine cages is determined by looking at the color of the water, the condition of the fish and the fishermen's instincts. If there is death of farmed fish or bad weather conditions, the cultivator will move the FNC manually, namely towing it using a motorboat.

This research designs an Autonomous FNC system that moves automatically to respond to waters with poor water quality and monitors FNC remotely. The FNC system consists of a water quality sensor system, an autonomous control system and a monitoring system. The aim of this research is to develop an Autonomous FNC control system to avoid poor water quality in waters and provide easy monitoring of water quality and conditions around the FNC effectively and efficiently. The FNC switches automatically if the water quality exceeds the set point threshold that has been programmed on the Arduino. The set point is determined from the standard values of temperature, Dissolved Oxygen and pH parameters for water quality for fish farming. Sensors consist of temperature, DO, pH, TDS, EC, turbidity, anemometer, wind direction sensors, voltage sensors and cameras for visual monitoring of the FNC surface and in the water. The control system method developed is based on Fuzzy Logic Type-1. The FNC monitoring system allows the water quality and visual conditions around the FNC to be monitored in real time remotely using internet-based applications.

It is hoped that this research can reduce risks and minimize material losses due to changes in water quality and bad weather that occur in fish cultivation businesses using FNC.

**Keywords:** *Autonomous* FNC system, Floating Cages Technology, Fuzzy Logic Type-1, Water quality, Remote monitoring.

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
RINGKASAN .....	viii
<i>SUMMARY</i> .....	ix
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xv
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Ruang Lingkup Penelitian .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
BAB II .....	6
TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1 State of The Art .....	6
2.2 Budidaya Perikanan .....	14
2.3 Budidaya Keramba Jaring Apung .....	18
2.4 Model Matematika Keramba Jaring Apung .....	20
2.5 Parameter Kualitas Air .....	24

2.6 Sensor kualitas air.....	35
2.7 Fuzzy Logic .....	36
2.8 Novelty .....	42
BAB III.....	43
METODOLOGI PENELITIAN .....	43
3.1 Alur Penelitian.....	43
3.2 Penelitian Awal .....	46
3.3 Disain Sistem.....	49
3.4 Perancangan Sistem.....	50
3.5 Desain Keramba Jaring Apung.....	57
3.6 Ujicoba Kinerja Perangkat.....	58
3.7 Lokasi Pengujian .....	58
BAB IV.....	59
SISTEM MONITORING DAN PERINGATAN KUALITAS AIR PADA BUDIDAYA IKAN METODE KJA .....	59
4.1 Pendahuluan .....	59
4.2 Rancangan Perangkat .....	60
4.3 Lokasi Pengujian .....	61
4.4 Hasil Pengujian.....	62
4.4.1 Pengujian di Sungai Musi.....	62
4.4.2 Pengujian di KJA Budidaya ikan.....	66
4.4.3 Pengujian Monitoring kualitas air .....	68
4.4.4 Pengujian pemantauan visual kondisi KJA .....	69
4.5 Diskusi .....	70
BAB V .....	72
PENGAMBILAN KEPUTUSAN DAN PEMINDAHAN LOKASI.....	72

KERAMBA JARING APUNG <i>AUTONOMOUS</i> .....	72
BERBASIS LOGIKA FUZZY .....	72
5.1 Pendahuluan .....	72
5.2 Standar Kualitas Air Budidaya Perikanan .....	73
5.3 Membangun Fuzzy Inference System .....	74
5.4 Program Pengambilan Keputusan .....	83
5.5 Sistem KJA <i>Autonomous</i> .....	84
5.6 Hasil.....	86
5.7 Diskusi.....	91
BAB VI KESIMPULAN .....	92
6.1 Kesimpulan.....	92
6.2 Saran .....	93
DAFTAR PUSTAKA.....	94

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 2. 1. Orientasi gerak pada KJA.....	22
Gambar 2. 2. Pola Stratifikasi Temperatur Pada kolam ikan .....	28
Gambar 2. 3. Fluktuasi harian nilai pH pada Kolam Ikan.....	31
Gambar 2. 4. Fluktuasi Harian Nilai Konsentrasi DO di Permukaan Air .....	32
Gambar 2. 5. Efek Konsentrasi DO pada Kolam Ikan .....	33
Gambar 2. 6. Fuzzy Logic System .....	37
Gambar 2. 7. MF Segitiga .....	38
Gambar 2. 8. MF Trapesium .....	38
Gambar 2. 9. MF Gaussian.....	39
Gambar 2. 10. MF Generalized bell .....	40
Gambar 2. 11. Sigmoidal fungsi y1 dan y2.....	40
Gambar 3. 1. Metodologi Penelitian .....	44
Gambar 3. 2. Lokasi Observasi .....	46
Gambar 3. 3. Perangkat Penelitian Awal .....	48
Gambar 3. 4. Lokasi Penelitian Awal .....	48
Gambar 3. 5. Diagram Sistem .....	49
Gambar 3. 6. Kalibrasi Sensor .....	51
Gambar 3. 7. Instalasi Sensor.....	52
Gambar 3. 8. Tampilan LCD.....	52
Gambar 3. 9. Template Aplikasi Blynk.....	53
Gambar 3. 10. Template Aplikasi Kamera.....	54
Gambar 3. 11. Diagram Kontrol KJA Autonomous.....	55
Gambar 3. 12. Diagram alur.....	56

Gambar 3. 13. Desain sistem KJA .....	58
Gambar 4. 1 Desain sistem KJA.....	60
Gambar 4. 2. Aplikasi perangkat pada KJA.....	61
Gambar 4. 3. Lokasi pengujian di Sungai Musi.....	62
Gambar 4. 4. Lokasi pengujian pada KJA.....	62
Gambar 4. 5. Hasil pengukuran temperature air Sungai.....	64
Gambar 4. 6. Hasil pengukuran DO air Sungai.....	65
Gambar 4. 7. Hasil pengukuran pH air sungai.....	65
Gambar 4. 8. Hasil pengukuran DO pada KJA budidaya.....	67
Gambar 4. 9. Hasil pengukuran Temperatur pada KJA budidaya.....	67
Gambar 4. 10. Hasil pengukuran pH pada KJA budidaya.....	68
Gambar 4. 11. Tampilan pengukuran kualitas air pada applikasi blynk.....	69
Gambar 4. 12. Tampilan visual kamera.....	70
Gambar 5. 1. Fuzzy Logic System .....	75
Gambar 5. 2. Desain Logika Fuzzy.....	76
Gambar 5. 3. Temperature membership function.....	77
Gambar 5. 4. Dissolved oxygen membership function .....	78
Gambar 5. 5. pH membership function .....	79
Gambar 5. 6. Output membership function.....	79
Gambar 5. 7. Rule editor .....	83
Gambar 5. 8. Sistem KJA Autonomous .....	85
Gambar 5. 9. Tampilan program keputusan status KJA.....	86
Gambar 5. 10. Luaran Membership function program python.....	87
Gambar 5. 11. Pengujian Perpindahan KJA Autonomous .....	89
Gambar 5. 12. Lokasi Pengujian Sistem KJA autonomous .....	90

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 2. 1. Penerapan Teknologi Monitoring dan Kontrol Kualitas Air Budidaya Perikanan.....	6
Tabel 2. 2. Penelitian Teknologi Keramba Lepas Pantai (offshore) .....	11
Tabel 2. 3. Penelitian Teknologi Keramba Jaring Apung .....	12
Tabel 2. 4. Pengukuran Kualitas Air Budidaya Perikanan Menggunakan Wahana Air.....	13
Tabel 2. 5. Negara/Wilayah Penghasil Tangkapan Laut .....	16
Tabel 2. 6. Konsumsi Ikan Per kapita berdasar Wilayah .....	17
Tabel 2. 7. Baku Mutu Air Biota Laut .....	24
Tabel 2. 8. Skala Nilai Kategori pH .....	30
Tabel 3. 1. Data Observasi Kualitas Air.....	47
Tabel 3. 2. Pengujian Penelitian Awal .....	48
Tabel 3. 3. Sensor yang digunakan .....	50
Tabel 3. 4. Parameter standar kualitas air budidaya ikan.....	57
Tabel 4. 1. Hasil pengukuran kualitas air Sungai Musi.....	63
Tabel 4. 2. Hasil pengukuran kualitas air pada KJA Budidaya.....	66
Tabel 5. 1. Parameter standar kualitas air budidaya ikan.....	74
Tabel 5. 2. Membership Function Variabel Temperatur .....	77
Tabel 5. 3. Membership Function Variabel DO.....	78
Tabel 5. 4. Membership Function Variabel pH.....	78
Tabel 5. 5. Rule Fuzzy .....	80
Tabel 5. 6. Hasil rekomendasi program pengambilan keputusan status KJA .....	87
Tabel 5. 7. Respon Perpindahan Sistem KJA Autonomous .....	90

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Populasi penduduk secara global mengalami peningkatan yaitu 6,94 milyar pada tahun 2010, meningkat menjadi 7,5 milyar pada tahun 2018. Selanjutnya diprediksi meningkat 20,2% pada tahun 2030 dan berpopulasi sekitar 9-10 milyar penduduk pada tahun 2050 [1]–[3]. Seiring meningkatnya populasi penduduk, kebutuhan protein hewani seperti ikan dan produk akuatik lainnya juga mengalami peningkatan khususnya permintaan dari negara berkembang dan negara maju [4], [5]. Konsumsi ikan per kapita secara global diproyeksikan mengalami peningkatan, yaitu 17,2 kg/tahun pada tahun 2010 meningkat menjadi 18,2 kg/tahun pada tahun 2030 [2]. Dengan kondisi ini, diproyeksikan pada tahun 2030 pasokan ikan global akan meningkat menjadi 186,8 juta ton, dimana produksi budidaya perikanan menyumbang 62% dari total hasil produksi dunia [2]. Berbagai metode baru perikanan dikembangkan dan pemanfaatan teknologi terkini diterapkan guna meningkatkan produksi perikanan yang lebih efektif dan efisien. Salah satunya adalah pemanfaatan Keramba Jaring Apung (KJA) yang wilayah operasinya diperluas pada perairan terbuka seperti waduk, danau, sungai, perairan payau hingga pesisir laut [6].

KJA merupakan suatu media budidaya dalam bidang perikanan dimana media tersebut berupa jaring yang mengapung disuatu perairan dengan bantuan pelampung [7]. Penggunaan KJA pada budidaya perikanan banyak dimanfaatkan untuk pembesaran berbagai spesies air tawar, air payau maupun air laut. KJA yang banyak dimiliki masyarakat umumnya masih tradisional terbuat dari bahan kayu, bambu dengan dikombinasikan dengan drum, styrofoam sebagai media apung. Berkembangnya teknologi saat ini memungkinkan bahan pembuatan KJA yang ringan dan tahan lebih lama, seperti bahan PVC dan HDPE. Pemanfaatan KJA untuk budidaya memiliki keuntungan yaitu jumlah dan mutu air terjamin, ukuran ikan lebih seragam, waktu panen dapat diatur, harga jual tinggi dan predator dapat dikendalikan [8]. Sirkulasi air terjaga



karena sumber air langsung dari perairan sungai, danau atau laut dimana lokasi KJA ditempatkan. Kegiatan budidaya, pembersihan jaring hingga panen dengan mudah dilakukan dibanding budidaya secara konvensional pada kolam. Namun budidaya dengan KJA juga terdapat kerugian seperti hama penyakit serta zat kimia berbahaya mudah terbawa arus dan mempengaruhi ikan didalam keramba [6]. Perubahan kualitas air perairan dapat menyebabkan ikan pada kolam KJA menjadi terganggu, stress, terserang penyakit bahkan menyebabkan kematian. Penurunan kualitas air dapat disebabkan banyak faktor, seperti kandungan zat kimia yang tinggi, endapan sisa makanan [9], [10], atau disebabkan faktor cuaca. Curah hujan yang tinggi di kawasan pesisir dapat menyebabkan turunnya kadar salinitas perairan di pesisir karena air hujan tersebut mengalir hingga ke pantai, penurunan kadar salinitas ini akan membuat biota menjadi stress [11]. Faktor lain yang mempengaruhi budidaya KJA adalah limbah pemukiman penduduk, limbah industri, lalu lintas kapal dan cuaca ekstrem seperti topan, gelombang tinggi dan sebagainya. Pada situasi seperti ini, biota yang hidup didalam dapat berpindah ke tempat lain yang kualitas airnya lebih baik atau menghindari perairan yang dalam kondisi buruk tersebut. Namun bagi biota yang dibudidaya, hal tersebut tidak bisa dilakukan karena terkurung pada kolam jaring KJA. Solusi dari permasalahan ini yang umum dilakukan pembudidaya atau nelayan adalah dengan memindahkan KJA-nya secara manual ke lokasi yang kualitas airnya masih baik atau kondisi perairannya yang terlindung dari cuaca ekstrem. KJA dipindahkan secara manual dengan cara ditarik menggunakan kapal motor. Perpindahan KJA secara manual sering dilakukan oleh nelayan jika sudah diketahui kualitas air mengalami penurunan dengan melihat perubahan pada warna air, tingkah laku biota, atau setelah ditemukan biota yang mati didalam keramba KJA. Proses pengambilan keputusan memindahkan KJA dan melakukan perpindahan KJA secara manual akan membutuhkan banyak tahapan dan waktu yang lama, sehingga diperlukan suatu sistem yang dapat bekerja dengan cepat dan otomatis mulai dari memantau perubahan kualitas air hingga merespon untuk melakukan pemindahan KJA ke lokasi yang kualitas air serta kondisinya lebih baik dari lokasi sebelumnya. Dari permasalahan tersebut, maka perlu dirancang suatu system KJA *Autonomous* yang dapat berpindah secara otomatis bila kualitas air dan kondisi perairan buruk. Sehingga mengurangi dampak buruk dan kerugian yang lebih besar.

Penerapan teknologi untuk diaplikasikan pada KJA sudah pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, diantaranya penelitian H. Nam., et al [12] yang mengembangkan remote sistem pemantauan berdasarkan jaringan sensor laut untuk budidaya lepas pantai yang terdiri dari jaringan sensor yang ditempatkan pada keramba ikan di tengah laut dan pusat pemantauan terletak di daratan. Penelitian selanjutnya oleh X. Zhang., et al [13] yang merancang sistem pemantau beberapa keramba ikan dengan sensor suhu, kekeruhan dan intensitas kebisingan. Pengembangan teknologi struktur KJA penelitiannya dilakukan oleh T. Kim., et al [14] yang mengembangkan Sistem Kandang Ikan Submersible yang bekerja secara otomatis untuk mengantisipasi cuaca yang ekstrim. Penelitian yang sama dilakukan C. Thangavel., et. al [15] yang mendesain keramba ikan dengan sistem elektronik yang dapat ditenggelamkan secara otomatis pada kedalaman yang diinginkan. Penelitian berikutnya Z. Lei., et al [16] juga mengembangkan keramba otonom yang disebut Active Disturbance Rejection Control (ADRC) untuk menghindari serangan binatang laut, angin, es terapung, ditabrakan kapal dan gangguan lainnya. Penelitian yang tidak jauh berbeda J.S Abril., et al [17] mendesain keramba apung dengan jaringan sensor wireless (WSN) yang terhubung mengelilingi jaring. Penelitian-penelitian terdahulu merancang KJA yang bergerak secara vertikal, yaitu tenggelam dan mengapung dipermukaan laut dengan tujuan menghindari badai/cuaca buruk, tabrakan kapal, binatang, dan sebagainya.

Berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya, penelitian ini akan merancang sistem KJA yang bergerak dipermukaan air (horizontal) secara *Autonomous* atas respon perubahan kualitas air dan kondisi perairan yang melampaui ambang batas yang ditetapkan pada program. Selama proses perpindahan sensor membaca kualitas air perairan secara realtime. Pergerakan KJA akan berhenti setelah pembacaan sensor menunjukkan kualitas air sesuai standar dan bertahan pada posisi tersebut selama kualitas air terbaca baik. Pergerakan KJA menggunakan motor listrik yang didesain untuk mudah bermanuver dipermukaan air. Sistem kontrol KJA menggunakan metode *Fuzzy type 1*, metode ini digunakan karena belum ada diimplementasikan pada KJA yang bergerak. Siklus ini akan berulang sesuai program yang telah ditetapkan, sehingga KJA terhindar dari kualitas air yang buruk.

## 1.2 Perumusan Masalah

Dari permasalahan yang diuraikan pada latarbelakang, maka rumusan masalah dan fokus dari penelitian ini adalah bagaimana merancang KJA yang dapat berpindah secara otomatis untuk menghindari kualitas air yang buruk dengan berpindah ke lokasi yang perairannya kondusif sesuai habitat ikan atau spesies yang sedang dibudidaya pada kolam KJA, serta dapat dimonitoring dari jarak jauh secara *real time* dengan efektif dan efisien bagi pelaku usaha budidaya menggunakan KJA.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan permasalahan yang disajikan, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang sistem KJA *autonomous* yang dapat berpindah secara otomatis untuk menghindari kualitas air yang buruk.
2. Merancang sistem pengukuran kualitas air jarak jauh secara *real time* yang dapat dimonitoring dari jarak jauh melalui PC/ smartphone.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan solusi atas permasalahan nelayan atau pelaku usaha budidaya perikanan yang menerapkan KJA terhadap kondisi kualitas air dan cuaca yang berubah menjadi buruk di perairan disekitar KJA, guna mencegah dampak buruk bagi ikan atau spesies yang dibudidaya dan kerugian yang lebih besar.
2. Memberikan kemudahan bagi nelayan atau pelaku usaha budidaya perikanan dalam memonitoring kondisi KJA secara *realtime* dari jarak jauh yang efektif dan efisien.
3. Mengembangkan inovasi penggunaan teknologi pada bidang budidaya perikanan sesuai perkembangan teknologi saat ini.
4. Mengoptimalkan produksi budidaya perikanan menggunakan metode KJA.

## 1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup pada penelitian ini, dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Rancangan perangkat penelitian yang dibangun merupakan prototype, dengan KJA didesain berbentuk persegi empat dengan penggerak empat motor listrik dan sumber dari battery.
2. Data primer dari penelitian ini diperoleh dari pengujian perangkat yang dilakukan dilokasi perairan sungai, laut dan lokasi KJA budidaya ikan yang sebenarnya.
3. Kalibrasi sensor dilakukan mengikuti prosedur teknis masing-masing sensor, maupun membandingkannya dengan alat ukur standar laboratorium.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan proposal Disertasi ini terdiri dari 6 bab.

Bab 1 merupakan bagian Pendahuluan yang menjelaskan latarbelakang, Perumusan masalah, Tujuan penelitian, Manfaat penelitian, Ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan.

Bab 2 merupakan bagian Tinjauan Pustaka yang menjelaskan *State of The Art* penelitian dari berbagai penelitian yang berkaitan dengan monitoring dan kontrol kualitas air pada budidaya, budidaya Keramba Jaring Apung, parameter kualitas air budidaya, sistem KJA otonomous maupun penelitian yang relevan lainnya.

Bab 3 merupakan bagian Metodologi penelitian yang menguraikan kerangka penelitian, disain sistem, perancangan sistem perangkat keras dan logika fuzzy, metode pengujian dan lokasi pengujian.

Bab 4 merupakan hasil kajian penelitian yang telah dipublikasikan pada seminar atau conference internasional, yang memaparkan Sistem sensor kualitas air, monitoring jarak jauh, aplikasi monitoring, dan hasil pengujian perangkat yang dilakukan di Sungai dan langsung dilokasi KJA budidaya ikan di perairan laut.

Bab 5 merupakan hasil penelitian penerapan logika fuzzy dalam pengambilan keputusan untuk pemindahan lokasi KJA. Program pengambilan keputusan dibangun dan diujikan terhadap data lokasi pengujian lapangan. Pada bagian ini dirancang pula sistem KJA *autonomous* dan diujicoba pada lokasi yang sebenarnya yang menunjukkan respon KJA berpindah lokasi bila kualitas air dilokasi awalnya dalam kondisi buruk.

Bab 6 merupakan bagian Penutup yang menjelaskan kesimpulan dan saran bagi penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] FAO, *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020*. Rome: Sustainability in action, 2020.
- [2] W. B. R. N. 83177-GLB, “FISH TO 2030 Prospects for Fisheries and Aquaculture,” Washington, DC, 2013. [Online]. Available: [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org).
- [3] M. A. Oyinlola, *Mariculture: Perception and prospects under climate change*. Elsevier Inc., 2019.
- [4] F. A. O. Fisheries and T. 498 Paper, “Cage aquaculture Regional reviews and global overview,” Rome, 2007.
- [5] C. L. Delgado, N. Wada, M. W. Rosegrant, S. Meijer, and M. Ahmed, *FISH TO 2020 Supply and Demand in Changing Global Markets*. International Food Policy Research Institute and WorldFish Center, 2003.
- [6] F. Cardia and A. Lovatelli, “Aquaculture operations in floating HDPE cages,” Rome, 2016. [Online]. Available: <http://www.fao.org/3/i4508e/i4508e.pdf>.
- [7] I. Effendi, *Pengantar akuakultur*. Jakarta: Penebar Swadaya, 2004.
- [8] Mayunar, “Produktivitas Beberapa Jenis Ikan Laut Yang Dibudidayakan Dalam Keramba Jaring Apung,” *Oseana*, vol. XXIV, no. 2, pp. 21–26, 1999.
- [9] K. M. Dua, K. Lhokseumawe, P. Aceh, K. A. Besar, P. Aceh, and K. D. Kelautan, “Ribuan Ikan Kerapu Mati di Keramba Petani Lhokseumawe , Apa Penyebabnya ?,” no. February, 2020.
- [10] W. W. F. for N. (WWF), *Budidaya Ikan Kerapu Macam Sistem Karamba Jaring Apung*, 2nd ed. Jakarta: WWF-Indonesia, 2015.
- [11] P. Marrone, “Chambers, RT,” *Etica e Polit.*, vol. 15, no. 1, pp. 583–605, 2013, doi: 10.1093/acprof.
- [12] H. Nam, S. An, C. H. Kim, S. H. Park, Y. W. Kim, and S. H. Lim, “Remote monitoring system based on ocean sensor networks for offshore aquaculture,” *2014 Ocean. - St. John's, Ocean. 2014*, 2015, doi: 10.1109/OCEANS.2014.7003046.
- [13] X. Zhang, X. Xu, Y. Peng, Z. Zou, and G. Su, “Research on centralized remote monitoring system for offshore cage farm,” *Progr. B. - Ocean. 2012 MTS/IEEE*

- Yeosu Living Ocean Coast - Divers. Resour. Sustain. Act.*, 2012, doi: 10.1109/OCEANS-Yeosu.2012.6263397.
- [14] T. Kim, K. S. Hwang, M. H. Oh, and D. J. Jang, "Development of an autonomous submersible fish cage system," *IEEE J. Ocean. Eng.*, vol. 39, no. 4, pp. 702–712, 2014, doi: 10.1109/JOE.2013.2276707.
- [15] C. Thangavel, S. Muthukumaravel, V. Gowthaman, T. Sudhakar, and M. A. Atmanand, "Mechanical system design of automatic sub-surface floating fish cage," *2015 IEEE Underw. Technol. UT 2015*, 2015, doi: 10.1109/UT.2015.7108298.
- [16] Z. Lei, Y. Hu, X. Sun, and B. Xing, "Active disturbance rejection control for marine fish cage," *Chinese Control Conf. CCC*, vol. 2018-July, pp. 3746–3750, 2018, doi: 10.23919/ChiCC.2018.8483046.
- [17] J. S. Abril, G. S. Sosa, and J. Sosa, "Design of a Wireless Sensor Network for Oceanic Floating Cages in Aquaculture," *Midwest Symp. Circuits Syst.*, vol. 2019-Augus, pp. 977–980, 2019, doi: 10.1109/MWSCAS.2019.8885256.
- [18] Z. Xiuna and L. Daoliang, "CDMA-based remote wireless water quality monitoring system for intensive fish culture," *Proc. - 2009 WRI Int. Conf. Commun. Mob. Comput. C. 2009*, vol. 2, pp. 380–385, 2009, doi: 10.1109/CMC.2009.241.
- [19] D. He, D. Li, J. Bao, H. Juanxiu, and S. Lu, "A water-quality dynamic monitoring system based on web-server-embedded technology for aquaculture," *IFIP Adv. Inf. Commun. Technol.*, vol. 346 AICT, no. PART 3, pp. 725–731, 2011, doi: 10.1007/978-3-642-18354-6\_85.
- [20] W. T. Sung, J. H. Chen, D. C. Huang, and Y. H. Ju, "Multisensors realtime data fusion optimization for IOT systems," *Conf. Proc. - IEEE Int. Conf. Syst. Man Cybern.*, vol. 2014-Janua, no. January, pp. 2299–2304, 2014, doi: 10.1109/smc.2014.6974269.
- [21] Y. Chen, G. Hou, and J. Ou, "WSN-based monitoring system for factory aquaculture," *Proc. IEEE Int. Conf. Softw. Eng. Serv. Sci. ICSESS*, pp. 439–442, 2014, doi: 10.1109/ICSESS.2014.6933600.
- [22] J. H. Chen, W. T. Sung, and G. Y. Lin, "Automated Monitoring System for the Fish Farm Aquaculture Environment," *Proc. - 2015 IEEE Int. Conf. Syst. Man, Cybern. SMC 2015*, pp. 1161–1166, 2016, doi: 10.1109/SMC.2015.208.

- [23] S. Kayalvizhi, R. G. Koushik, K. P. Vivek, and N. Venkata, Prasanth, "Cyber Aqua Culture Monitoring System Using Arduinio And Raspberry Pi," *Int. J. Adv. Res. Electr. Electron. Instrum. Eng.*, vol. 4, no. 5, pp. 4554–4558, 2015.
- [24] B. Rahmat, T. A. Rachmanto, M. Waluyo, M. I. Afandi, H. Widyantara, and H. Harianto, "Designing intelligent fishcarelab system (ifs) as modern koi fish farming system," *Proc. - 2016 Int. Semin. Appl. Technol. Inf. Commun. ISEMANTIC 2016*, pp. 142–146, 2017, doi: 10.1109/ISEMANTIC.2016.7873827.
- [25] C. M. Fourie, D. V. Bhatt, B. J. Silva, A. Kumar, and G. P. Hancke, "A solar-powered fish pond management system for fish farmng conservation," *IEEE Int. Symp. Ind. Electron.*, pp. 2021–2026, 2017, doi: 10.1109/ISIE.2017.8001565.
- [26] T. Y. Kyaw and A. K. Ng, "Smart Aquaponics System for Urban Farming," *Energy Procedia*, vol. 143, pp. 342–347, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.12.694.
- [27] W. T. Sung, J. H. Chen, and S. J. Hsiao, "Fish pond culture via fuzzy and self-adaptive data fusion application," *2017 IEEE Int. Conf. Syst. Man, Cybern. SMC 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 2986–2991, 2017, doi: 10.1109/SMC.2017.8123082.
- [28] P. B. Bokingkito and O. E. Llantos, "Design and Implementation of Real-Time Mobile-based Water Temperature Monitoring System," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 124, pp. 698–705, 2017, doi: 10.1016/j.procs.2017.12.207.
- [29] K. R. S. R. Raju and G. H. K. Varma, "Knowledge based real time monitoring system for aquaculture Using IoT," *Proc. - 7th IEEE Int. Adv. Comput. Conf. IACC 2017*, pp. 318–321, 2017, doi: 10.1109/IACC.2017.0075.
- [30] A. D. M. Africa, J. C. C. A. Aguilar, C. M. S. Lim, P. A. A. Pacheco, and S. E. C. Rodrin, "Automated aquaculture system that regulates Ph, temperature and ammonia," *HNICEM 2017 - 9th Int. Conf. Humanoid, Nanotechnology, Inf. Technol. Commun. Control. Environ. Manag.*, vol. 2018-Janua, pp. 1–6, 2017, doi: 10.1109/HNICEM.2017.8269494.
- [31] Y. Kim, N. Lee, B. Kim, and K. Shin, "Realization of IoT based fish farm control using mobile app," *Proc. - 2018 Int. Symp. Comput. Consum. Control. IS3C 2018*, pp. 189–192, 2019, doi: 10.1109/IS3C.2018.00055.
- [32] Z. Harun, E. Reda, and H. Hashim, "Real time fish pond monitoring and automation using Arduino," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 340, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/340/1/012014.

- [33] I. S. Akila, P. Karthikeyan, H. M. V. Hari, and K. J. Hari, "IoT Based Domestic Fish Feeder," *Proc. 2nd Int. Conf. Electron. Commun. Aerosp. Technol. ICECA 2018*, no. Iceca, pp. 1306–1311, 2018, doi: 10.1109/ICECA.2018.8474829.
- [34] J. D. La Madrid, J. C. D. Cruz, and V. L. Q. Balisi, "Real-time water quality monitoring system with predictor for tilapia pond," *2018 IEEE 10th Int. Conf. Humanoid, Nanotechnology, Inf. Technol. Commun. Control. Environ. Manag. HNICEM 2018*, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1109/HNICEM.2018.8666423.
- [35] V. Vishwakarma, A. Gurav, H. Patel, and S. Sahasrabudhe, "Acqua culture monitoring system," *2018 Int. Conf. Smart City Emerg. Technol. ICSCET 2018*, pp. 1–4, 2018, doi: 10.1109/ICSCET.2018.8537345.
- [36] D. Manyone, R. Takitoge, and K. Ishibashi, "Wireless and low-power water quality monitoring beat sensors for agri and acqua-culture IoT applications," *ECTI-CON 2018 - 15th Int. Conf. Electr. Eng. Comput. Telecommun. Inf. Technol.*, pp. 122–125, 2019, doi: 10.1109/ECTICon.2018.8620024.
- [37] S. Saha, R. H. Rajib, and S. Kabir, "IoT Based Automated Fish Farm Aquaculture Monitoring System," *2018 Int. Conf. Innov. Sci. Eng. Technol. ICISSET 2018*, no. October, pp. 201–206, 2018, doi: 10.1109/ICISSET.2018.8745543.
- [38] K. N. Hairol, R. Adnan, A. M. Samad, and F. Ahmat Ruslan, "Aquaculture Monitoring System using Arduino Mega for Automated Fish Pond System Application," *Proc. - 2018 IEEE Conf. Syst. Process Control. ICSPC 2018*, no. December, pp. 218–223, 2018, doi: 10.1109/SPC.2018.8704133.
- [39] B. Shi, V. Sreeram, D. Zhao, S. Duan, and J. Jiang, "A wireless sensor network-based monitoring system for freshwater fishpond aquaculture," *Biosyst. Eng.*, vol. 172, pp. 57–66, 2018, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2018.05.016.
- [40] W. Yueting, L. Jiaming, Y. Long, L. Xiaoming, and L. Weiqi, "Self-cleaning aquacultural water quality monitoring system design," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 17, pp. 359–362, 2018, doi: 10.1016/j.ifacol.2018.08.204.
- [41] J. H. Yu, F. Y. Chang, C. H. Tseng, and C. H. Wu, "Construction of Internet of Things System in Coastal Aquaculture Environment," *Proc. - 2019 Int. Conf. Intell. Comput. Its Emerg. Appl. ICEA 2019*, pp. 97–100, 2019, doi: 10.1109/ICEA.2019.8858322.
- [42] W. Hassan, M. Føre, J. B. Ulvund, and J. A. Alfredsen, "Internet of Fish:



- Integration of acoustic telemetry with LPWAN for efficient real-time monitoring of fish in marine farms,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 163, no. September 2018, p. 104850, 2019, doi: 10.1016/j.compag.2019.06.005.
- [43] Y. B. Lin and H. C. Tseng, “FishTalk: An IoT-Based Mini Aquarium System,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 35457–35469, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2905017.
- [44] T. Abinaya, J. Ishwarya, and M. Maheswari, “A Novel Methodology for Monitoring and Controlling of Water Quality in Aquaculture using Internet of Things (IoT),” *2019 Int. Conf. Comput. Commun. Informatics, ICCCI 2019*, pp. 1–4, 2019, doi: 10.1109/ICCCI.2019.8821988.
- [45] Z. Shareef and S. R. N. Reddy, “Design and wireless sensor network analysis of water quality monitoring system for aquaculture,” *Proc. 3rd Int. Conf. Comput. Methodol. Commun. ICCMC 2019*, no. Iccmc, pp. 405–408, 2019, doi: 10.1109/ICCMC.2019.8819844.
- [46] N. A. J. Salih, I. J. Hasan, and N. I. Abdulkhaleq, “Design and implementation of a smart monitoring system for water quality of fish farms,” *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 14, no. 1, p. 44, 2019, doi: 10.11591/ijeecs.v14.i1.pp44-50.
- [47] Y. Wei, X. Hu, and D. An, “Design of An intelligent pH sensor based on IEEE1451.2,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 17, pp. 191–198, 2018, doi: 10.1016/j.ifacol.2018.08.139.
- [48] M. H. Rohit, Z. T. Hoque, S. Mujibul Karim, and S. Siddique, “Cost efficient automated pisciculture assistance system using internet of things (iot),” *Proc. - 2019 IEEE/ACM 1st Int. Work. Softw. Eng. Res. Pract. Internet Things, SERP4IoT 2019*, pp. 49–52, 2019, doi: 10.1109/SERP4IoT.2019.00015.
- [49] P. Phokharatkul and S. Phaiboon, “Mobile robot control using type-2 fuzzy logic system,” *2004 IEEE Conf. Robot. Autom. Mechatronics*, pp. 296–299, 2004, doi: 10.1109/ramech.2004.1438934.
- [50] X. T. Chen and W. W. Tan, “A type-2 fuzzy logic controller for dynamic positioning systems,” *2010 8th IEEE Int. Conf. Control Autom. ICCA 2010*, pp. 1013–1018, 2010, doi: 10.1109/ICCA.2010.5524273.
- [51] X. T. Chen and W. W. Tan, “An adaptive type-2 fuzzy logic controller for dynamic positioning,” *IEEE Int. Conf. Fuzzy Syst.*, vol. 2, pp. 2147–2154, 2011, doi:

10.1109/FUZZY.2011.6007453.

- [52] E. Kayacan, E. Kayacan, H. Ramon, O. Kaynak, and W. Saeys, "Towards agrobots: Trajectory control of an autonomous tractor using type-2 fuzzy logic controllers," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 20, no. 1, pp. 287–298, 2015, doi: 10.1109/TMECH.2013.2291874.
- [53] X. Xu, P. Su, F. Wang, L. Chen, J. Xie, and V. A. Atindana, "Coordinated Control of Dual-Motor Using the Interval Type-2 Fuzzy Logic in Autonomous Steering System of AGV," *Int. J. Fuzzy Syst.*, vol. 23, no. 4, pp. 1070–1086, 2021, doi: 10.1007/s40815-020-00886-x.
- [54] D. Karimanzira *et al.*, "First testing of an AUV mission planning and guidance system for water quality monitoring and fish behavior observation in net cage fish farming," *Inf. Process. Agric.*, vol. 1, no. 2, pp. 131–140, 2014, doi: 10.1016/j.inpa.2014.12.001.
- [55] D. B. Solpico *et al.*, "Towards a web-based decision system for Philippine lakes with UAV imaging, water quality wireless network sensing and stakeholder participation," *2015 IEEE 10th Int. Conf. Intell. Sensors, Sens. Networks Inf. Process. ISSNIP 2015*, no. April, pp. 7–9, 2015, doi: 10.1109/ISSNIP.2015.7106906.
- [56] O. L. Osen, R. I. Sandvik, J. Berge Trygstad, V. Rogne, and H. Zhang, "A novel low cost ROV for aquaculture application," *Ocean. 2017 - Anchorage*, vol. 2017-Janua, pp. 1–7, 2017.
- [57] G. Livanos, M. Zervakis, V. Chalkiadakis, K. Moirogiorgou, G. Giakos, and N. Papandroulakis, "Intelligent navigation and control of a prototype autonomous underwater vehicle for automated inspection of aquaculture net pen cages," *IST 2018 - IEEE Int. Conf. Imaging Syst. Tech. Proc.*, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/IST.2018.8577180.
- [58] O. L. Osen, P. M. Leinan, M. Blom, C. Bakken, M. Heggen, and H. Zhang, "A Novel Sea Farm Inspection Platform for Norwegian Aquaculture Application," *Ocean. 2018 MTS/IEEE Charleston, Ocean 2018*, pp. 1–8, 2019, doi: 10.1109/OCEANS.2018.8604648.
- [59] S. Garuglieri, D. Madeo, A. Pozzebon, R. Zingone, C. Mocenni, and D. Bertoni, "An Integrated System for Real-Time Water Monitoring Based on Low Cost

- Unmanned Surface Vehicles,” *SAS 2019 - 2019 IEEE Sensors Appl. Symp. Conf. Proc.*, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1109/SAS.2019.8706040.
- [60] N. Wu and M. Khan, “LoRa-based Internet-of-Things: A Water Quality Monitoring System,” *Conf. Proc. - IEEE SOUTHEASTCON*, vol. 2019-April, pp. 1–4, 2019, doi: 10.1109/SoutheastCon42311.2019.9020583.
- [61] M. H. Rohit, S. Barua, I. Akter, S. M. M. Karim, S. Akter, and M. M. Lutfel Elahi, “IOT Based Submersible ROV for Pisciculture,” *2019 28th IEEE Int. Conf. Robot Hum. Interact. Commun. RO-MAN 2019*, no. November, 2019, doi: 10.1109/RO-MAN46459.2019.8956441.
- [62] M. N. Pillay, T.V.R & Kutty, *Aquaculture Principles and Practices*, Second Edi. Oxford: Blackwell Publishing, 2005.
- [63] R. Parker, *AQUACULTURE SCIENCE*, Third Edit. New York: Delmar Cengage Learning, 2012.
- [64] L. M. Laird, “Mariculture Overview,” *Encycl. Ocean Sci.*, pp. 1572–1577, 2001, doi: 10.1006/rwos.2001.0474.
- [65] I. Efendi and Mulyadi, “Budidaya Perikanan,” *Modul 1 Budid. Perikan.*, pp. 1–40, 2015.
- [66] D. E. D. Setyono, “Pengetahuan Dasar Akuakultur,” *Oseana*, vol. XXIX, no. 1, pp. 27–32, 2004, [Online]. Available: [www.oseanografi.lipi.go.id](http://www.oseanografi.lipi.go.id).
- [67] J. H. Tidwell, L. A. Bright, and U. States, *Freshwater Aquaculture*, 2nd ed., vol. 2014. Elsevier Inc., 2018.
- [68] O. Lekang, *Aquaculture Engineering*, Third Edit. West Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltd, 2020.
- [69] M. Masser, “What is Cage Culture?,” 2008. [Online]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21180908>.
- [70] S. N. Ojha and S. C. Babu, *Why convergence of Fisheries Co-management with Agricultural Technology Management Agency is significant*. Elsevier Inc., 2019.
- [71] J. P. Kritzer, “Influences of at-sea fishery monitoring on science, management, and fleet dynamics,” *Aquac. Fish.*, vol. 5, no. 3, pp. 107–112, 2020, doi: 10.1016/j.aaf.2019.11.005.
- [72] R. Dahuri, “Pengelolaan Ruang Wilayah Pesisir Dan Lautan Seiring Dengan Pelaksanaan Otonomi Daerah,” *J. Sos. dan Pembang.*, vol. 17, no. 2, pp. 139–171,

- 2001, [Online]. Available: <https://ejournal.unisba.ac.id/index.php/mimbar/article/view/38>.
- [73] C. Lin and L. Zhang, *Habitat enhancement and rehabilitation*, vol. 39. Elsevier Inc., 2015.
- [74] X. Xu and X. Zhang, “A remote acoustic monitoring system for offshore aquaculture fish cage,” *Proc. 14th Int. Conf. Mechatronics Mach. Vis. Pract. M2VIP2007*, pp. 86–90, 2007, doi: 10.1109/MMVIP.2007.4430721.
- [75] Tumembouw Sipriana, “Kualitas Air Pada Lokasi Budidaya Ikan di Perairan Desa Eris, Danau Tondano. Kabupaten Minahasa,” *J. Perikan. dan Kelaut. Trop.*, vol. VIII, no. 1, pp. 33–36, 2012.
- [76] W. Liu, Y. Liu, and R. Bucknall, “A Robust Localization Method for Unmanned Surface Vehicle (USV) Navigation Using Fuzzy Adaptive Kalman Filtering,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 46071–46083, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2909151.
- [77] J.H.A.M. Vervoort, *Modeling and Control of an Unmanned Underwater Vehicle*. New Zealand: University of Canterbury, 2008.
- [78] S. R. Jino Ramson, D. Bhavanam, S. Draksharam, A. Kumar, D. Jackuline Moni, and A. Alfred Kirubaraj, “Sensor Networks based Water Quality Monitoring Systems for Intensive Fish Culture -A Review,” *Proc. 4th Int. Conf. Devices, Circuits Syst. ICDCS 2018*, pp. 54–57, 2019, doi: 10.1109/ICDCSyst.2018.8605146.
- [79] C. E. Boyd and F. Lichtkoppler, “Water Quality Management in pond fish culture,” *Int. Cent. Aquac.*, vol. 22, no. 22, pp. 1–30, 1979.
- [80] Menteri Negara Lingkungan Hidup RI, “Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 51 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Laut,” 2004.
- [81] M. J. Kennish, *Encyclopedia of Earth Sciences Series*. 2016.
- [82] D. Sofarini, “Karakteristik Fisik-Kimia Kualitas Air pada Lahan Bekas Tambang Bahan Galian Golongan c di Kecamatan Landasan Ulin Kota Banjarbaru,” *EnviroScientiae*, vol. 7, pp. 6–11, 2011.
- [83] H. P. Hutagalung, “Pengaruh Suhu Air Terhadap Kehidupan Organisme Laut,” *Oseana*, vol. XIII, no. 4, pp. 153–164, 1988.
- [84] H. Dallas, *The effect of water temperature on aquatic organisms : a review of*

*knowledge and methods for assessing biotic responses to temperature Report to the Water Research Commission by Department of Zoology University of Cape Town*, no. December. 2017.

- [85] J. P. N. Geneviève M. Carr, *Water Quality for Ecosystem and Human Health (2nd edition)*, 2nd editio. UNEP GEMS/Water Programme, 2008.
- [86] F. D. Wilde, "Temperature 6 . 1," *U.S. Geol. Surv. B. 9*, vol. 2, pp. 1–22, 2006.
- [87] N. Taryana, W. Waluyo, and A. Ismaya, "Perancangan Model Sistem Kontrol Parameter Kualitas Air Tambak Udang dengan menggunakan ZELIO SR3B101BD dan Arduino Uno," *Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap. V*, vol. 8, pp. 181–188, 2017.
- [88] Ramawijaya, Rosidah, M. Y. Awaludin, and W. S. Pranowo, "VARIABILITAS PARAMETER OSEANOGRAFI DAN KARBON LAUT DI TELUK BANTEN," *J. Perikan. dan Kelaut.*, vol. 3, no. 3, pp. 1–5, 2012.
- [89] P. C. Reid *et al.*, "Impacts of the oceans on climate change," *Adv. Mar. Biol.*, vol. 56, no. 09, pp. 1–150, 2010, doi: 10.1016/S0065-2881(09)56001-4.
- [90] E. P. Odum, *Fundamentals of Ecology*, Third Edit. Philadelphia: W.B. Saunders Co., 1971.
- [91] C. C. Westcott, "Principles of pH Measurements," *PH Meas.*, pp. 1–16, 1978, doi: 10.1016/b978-0-12-745150-3.50004-7.
- [92] G. F. Ritz and J. A. Collins, *pH 6 . 4*, vol. 0. US, 2008.
- [93] D. Bernhardt and J. F. R. II, "Chapter A6.2. Dissolved oxygen: Techniques and Methods," in *Handbooks for Water-Resources Investigations*, Virginia, 2020, p. 44.
- [94] Y. Sugianti and L. P. Astuti, "Respon Oksigen Terlarut Terhadap Pencemaran dan Pengaruhnya Terhadap Keberadaan Sumber Daya Ikan di Sungai Citarum," *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 19, no. 2, p. 203, 2018, doi: 10.29122/jtl.v19i2.2488.
- [95] Salmin, "Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) Sebagai Salah Satu Indikator untuk Menentukan Kualitas Perairan," *J. Pus. Penelit. Oseanografi-Lipi, Jakarta*, vol. 30, no. 3, pp. 21–26, 2005, [Online]. Available: [http://oseanografi.lipi.go.id/dokumen/oseana\\_XXX\(3\)21-26.pdf](http://oseanografi.lipi.go.id/dokumen/oseana_XXX(3)21-26.pdf).
- [96] E. Rochyatun, "Variasi Musiman Kandungan Oksigen Terlarut Di Perairan Gugus Pulau Pari.," *Pusat Penelitian Oseanografi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia*.

- pp. 23–31, 2002.
- [97] M. Wibowo, “Water Sea Quality Study at Jakarta Bay due to Reclamtion and The Development of Giant Sea Wall (GSW),” *J. Lingkungan. dan Bencana Geol.*, vol. 9, no. 1, p. 31, 2018, doi: 10.34126/jlbg.v9i1.198.
- [98] E. H. R. Craig S. Tucker, *Water quality management in Ponds*. Springer, Boston, MA, 1987.
- [99] G. Lagerloef, *Satellite Measurements Of Salinity*. Seattle, WA, USA: Academic Press, 2001.
- [100] J. E. Andrews, P. Brimblecombe, T. D. Jickells, and P. S. Liss, *An introduction to environmental chemistry*, SECOND EDI. United Kingdom: Blackwell Publishing Ltd, 2004.
- [101] D. Arief, “Pengukuran Salinitas Air Laut Dan Peranannya Dalam Ilmu Kelautan,” *Oseana, Vol. IX, Nomor 1 3-10,1984*, vol. IX, no. 1, pp. 3–10, 1984.
- [102] N. Reul *et al.*, “Sea surface salinity estimates from spaceborne L-band radiometers: An overview of the first decade of observation (2010–2019),” *Remote Sens. Environ.*, vol. 242, no. March, p. 111769, 2020, doi: 10.1016/j.rse.2020.111769.
- [103] V. I. Rich and R. M. Maier, *Aquatic Environments*. Elsevier Inc., 2015.
- [104] D. Nguyen and P. H. Phung, “A reliable and efficient wireless sensor network system for water quality monitoring,” *Proc. - 2017 13th Int. Conf. Intell. Environ. IE 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 84–91, 2017, doi: 10.1109/IE.2017.34.
- [105] O. Castillo, P. Melin, J. Kacprzyk, and W. Pedrycz, “Type-2 Fuzzy Logic: Theory and Applications,” pp. 145–145, 2008, doi: 10.1109/grc.2007.118.
- [106] J. M. Mendel, “Uncertainty, Type-2 Fuzzy Sets, and Footprints of Uncertainty,” *Electr. Eng.*, 2003.
- [107] E. Kayacan and M. A. Khanesar, “Fundamentals of Type-2 Fuzzy Logic Theory,” *Fuzzy Neural Networks Real Time Control Appl.*, pp. 25–35, 2016, doi: 10.1016/b978-0-12-802687-8.00003-7.
- [108] J. M. Mendel, “Fuzzy-Logic Systems for Engineering: A Tutorial,” *Proc. IEEE*, vol. 83, pp. 345–377, 1995.
- [109] Oscar Castillo and Patricia Melin, *Type-2 Fuzzy Logic: Theory and Applications*. Tijuana, Mexico: Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- [110] H. A. Hagrass, “A hierarchical type-2 fuzzy logic control architecture for

- autonomous mobile robots,” *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 12, no. 4, pp. 524–539, 2004, doi: 10.1109/TFUZZ.2004.832538.
- [111] N. N. Karnik, J. M. Mendel, and Q. Liang, “Type-2 fuzzy logic systems,” *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 7, no. 6, pp. 643–658, 1999, doi: 10.1109/91.811231.
- [112] Pemerintah Republik Indonesia, “Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup,” *Sekr. Negara Republik Indones.*, vol. 1, no. 078487A, p. 483, 2021, [Online]. Available: <http://www.jdih.setjen.kemendagri.go.id/>.
- [113] C. Orduna, L. Encina, A. Rodríguez-Ruiz, and V. Rodríguez-Sánchez, “Testing of new sampling methods and estimation of size structure of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) in aquaculture farms using horizontal hydroacoustics,” *Aquaculture*, vol. 545, 2021, doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.737242.
- [114] C. Dupont, P. Cousin, and S. Dupont, “IoT for aquaculture 4.0 smart and easy-to-deploy real-time water monitoring with IoT,” *2018 Glob. Internet Things Summit, GIOTS 2018*, pp. 1–5, 2018, doi: 10.1109/GIOTS.2018.8534581.
- [115] U. Acar *et al.*, “Designing An IoT cloud solution for aquaculture,” *Glob. IoT Summit, GIOTS 2019 - Proc.*, 2019, doi: 10.1109/GIOTS.2019.8766428.
- [116] L. V. Q. Danh, D. V. M. Dung, T. H. Danh, and N. C. Ngon, “Design and deployment of an IoT-Based water quality monitoring system for aquaculture in mekong delta,” *Int. J. Mech. Eng. Robot. Res.*, vol. 9, no. 8, pp. 1170–1175, 2020, doi: 10.18178/ijmerr.9.8.1170-1175.
- [117] T. Y. Wei, E. S. Tindik, C. F. Fui, Haviluddin, and M. H. A. Hijazi, “Automated water quality monitoring and regression-based forecasting system for aquaculture,” *Bull. Electr. Eng. Informatics*, vol. 12, no. 1, pp. 570–579, 2023, doi: 10.11591/eei.v12i1.4464.
- [118] M. R. D. Molato, “AquaStat: An Arduino-based Water Quality Monitoring Device for Fish Kill Prevention in Tilapia Aquaculture using Fuzzy Logic,” *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 13, no. 2, pp. 557–562, 2022, doi: 10.14569/IJACSA.2022.0130265.
- [119] H. Volkoff and I. Rønnestad, “Effects of temperature on feeding and digestive processes in fish,” *Temperature*, vol. 7, no. 4, pp. 307–320, 2020, doi: 10.1080/23328940.2020.1765950.

- [120] V. A. Prakoso and Y. J. Chang, “Effects of Hypoxia on Oxygen Consumption of Tilapia Fingerlings (*Oreochromis niloticus*),” *Oseanologi dan Limnol. di Indones.*, vol. 3, no. 2, p. 165, 2018, doi: 10.14203/oldi.2018.v3i2.169.
- [121] M. E. Abd El-Hack *et al.*, “Effect of environmental factors on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*),” *Int. J. Biometeorol.*, vol. 66, no. 11, pp. 2183–2194, 2022, doi: 10.1007/s00484-022-02347-6.
- [122] S. Diposaptono, *Membangun Poros Maritim Dunia Dalam Perspektif Tata Ruang Laut*, no. 16. 2017.