JREEC
JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY, ELECTRONICS AND CONTROL
homepage URL : https://ejurnal.itats.ac.id/jreec

RANCANG BANGUN KAPAL PEMBERI PAKAN IKAN BANDENG BERBASIS IOT MENGGUNAKAN METODE *FUZZY* MAMDANI

Muhammad Rifkal Ubaidan Nasich[1], dan Alfi Zuhriya Khoirunnisaa[2].

Universitas Muhammadiyah Gresik.

INFORMASI ARTIKEL

Jurnal JREEC – Volume xx
Nomer xx, Mei 2018

Halaman:
17 – 34
Tanggal Terbit :
30 Oktober 2026

DOI:
10.36320/j.JREEC.2017.v21i2.91

ABSTRACT

Milkfish (Chanos chanos) farming is a strategic aquaculture sector in Indonesia that requires efficient feed management and water quality monitoring. Conventional feeding has limitations, including uneven feed distribution, inconsistency in feed quantity, and inability to respond to changes in water conditions in real time. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based milkfish feeding boat prototype that integrates remote navigation control with adaptive feeding automation using the Fuzzy Mamdani method.
The system uses an ESP32 microcontroller as the main control unit and local web server, connected to a water pH sensor, turbidity sensor, and HC-SR04 ultrasonic sensor. Boat navigation is controlled by two 12V DC motors through BTS7960 drivers, while feed distribution is actuated by an MG995 servo motor installed on a funnel-shaped hopper. The Fuzzy Mamdani method uses water pH and turbidity levels as input variables and feed quantity as the output variable, consisting of three categories: Little, Medium, and Much, represented by nine IF-THEN inference rules. The control and monitoring interface is implemented through a web dashboard accessible via a smartphone browser in real time.

Testing results showed average sensor errors of 0.66% for pH, 2.69% for turbidity, and 2.09% for ultrasonic measurements. The navigation system successfully performed eight movement patterns, while ten web server test scenarios were successfully completed. Mapping of the 13 × 7 meter pond was also successfully completed

keywords: *IoT-based fish feed vessel; Web Server; Mamdani fuzzy method; pH sensor; Turbidity sensor.*

EMAIL

ubednasich607@gmil.com[1]
alfi.zuhria@gmail.com[2]

PENERBIT

Jurusan Teknik Elektro-ITATS
Alamat:
Jl. Arief Rachman Hakim No.100, Surabaya 60117,
Telp/Fax: 031-5997244

Jurnal JREEC by Department of Elecreical Engineering is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

ABSTRAK

Budidaya ikan bandeng (*Chanos chanos*) merupakan sektor akuakultur strategis di Indonesia yang membutuhkan manajemen pakan dan pemantauan kualitas air yang efisien. Pemberian pakan secara konvensional memiliki keterbatasan berupa distribusi tidak merata, ketidakonsistenan jumlah pakan, serta ketidakmampuan merespons perubahan kondisi air secara *real time*. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan prototipe kapal pemberi pakan ikan bandeng berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mengintegrasikan kendali navigasi jarak jauh dengan otomatisasi pemberian pakan adaptif menggunakan metode Fuzzy Mamdani.
Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai unit kendali utama sekaligus *web server* lokal, yang terhubung ke sensor pH air, sensor kekeruhan (*turbidity*), dan sensor ultrasonik HC-SR04. Navigasi kapal dikendalikan oleh dua motor DC 12V melalui driver BTS7960, sedangkan distribusi pakan menggunakan motor servo MG995 pada *hopper* berbentuk corong. Metode Fuzzy Mamdani menggunakan pH air dan tingkat kekeruhan sebagai input serta jumlah pakan sebagai output dengan sembilan aturan inferensi *IF-THEN*. Antarmuka kendali dan pemantauan berbasis *web dashboard* dapat diakses melalui browser smartphone secara *real time*. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata error sensor pH 0,66%, *turbidity* 2,69%, dan ultrasonik 2,09%. Sistem navigasi berhasil melakukan delapan pola gerakan, sepuluh skenario *web server* terpenuhi, dan pemetaan tambak 13 × 7 meter berhasil diselesaikan.

Kata kunci: Kapal pakan ikan berbasis IoT; Web *Server;* Metode *fuzzy* Mamdani; Sensor pH; Sensor Turbidity.

PENDAHULUAN

Budidaya ikan bandeng (*Chanos chanos*) merupakan salah satu sektor akuakultur unggulan di Indonesia yang memiliki nilai ekonomis tinggi dan permintaan pasar yang terus meningkat [1]. Keberhasilan budidaya ikan bandeng secara langsung dipengaruhi oleh kualitas pemberian pakan serta kondisi lingkungan perairan tambak [2]. Pakan memiliki peran krusial dalam memacu pertumbuhan ikan, sehingga pemberian pakan yang tidak tepat dalam hal jumlah maupun waktu dapat menyebabkan pemborosan sumber daya serta penurunan produktivitas budidaya [3]. Selain aspek pakan, kualitas air tambak juga menjadi faktor penentu yang kritis, di mana parameter fisikokimia seperti pH, tingkat kekeruhan (*turbidity*), dan suhu perlu dipantau secara berkelanjutan untuk memastikan kondisi optimal bagi kehidupan ikan bandeng [4], [5]. Penelitian menunjukkan bahwa tingkat kekeruhan air berkorelasi erat dengan komposisi sedimen dan distribusi ukuran partikel tersuspensi yang dapat berdampak pada kesehatan ekosistem perairan tambak [6]. Oleh karena itu, pemantauan dan pengelolaan kualitas air secara terintegrasi menjadi kebutuhan mendasar dalam sistem akuakultur modern [7].

Praktik pemberian pakan secara konvensional yang mengandalkan tenaga manusia secara langsung menghadirkan berbagai keterbatasan, antara lain ketidak konsistenan jumlah dan waktu pemberian pakan, distribusi pakan yang tidak merata di seluruh area tambak, serta ketidak mampuan merespons perubahan kondisi kualitas air secara real-time [8]. Kondisi ini mendorong berkembangnya berbagai penelitian terkait sistem pemberian pakan ikan otomatis, salah satunya melalui pemanfaatan teknologi Internet of Things (IoT) [9]. Sistem IoT memungkinkan integrasi sensor, aktuator, dan platform kendali dalam suatu jaringan terhubung yang dapat dimonitor dan dioperasikan dari jarak jauh melalui perangkat digital seperti smartphone [10]. Penerapan IoT dalam akuakultur terbukti meningkatkan efisiensi operasional budidaya sekaligus mendukung pemantauan kondisi lingkungan secara real-time, sebagaimana ditunjukkan pada sistem monitoring berbasis ESP32 yang digunakan untuk mendukung teknologi *microbubble generator* pada akuakultur [11].

Mikrokontroler ESP32 telah menjadi komponen utama dalam pengembangan sistem IoT akuakultur karena menawarkan konektivitas Wi-Fi terintegrasi, kemampuan pemrosesan data yang handal, serta kompatibilitas tinggi dengan berbagai sensor dan aktuator [8]. Sistem berbasis web server yang memanfaatkan ESP32 memungkinkan pengguna mengendalikan perangkat melalui antarmuka yang dapat diakses secara langsung melalui smartphone tanpa memerlukan aplikasi tambahan [12]. Penerapan protokol komunikasi seperti WebSocket dan MQTT pada sistem monitoring berbasis web juga telah dikembangkan untuk mendukung efisiensi transmisi data secara real-time [10]. Selain itu, dapat menunjukkan fleksibilitas platform ESP32 yang dikembangkan lebih lanjut untuk berbagai keperluan sistem cerdas berbasis IoT [13]. Untuk kebutuhan navigasi kapal, kendali motor DC menggunakan driver seperti L298N maupun BTS7960 telah terbukti efektif sebagai solusi *power switching* dalam menggerakkan aktuator secara presisi [14], dan sistem kendali motor DC berbasis IoT juga telah diimplementasikan sebagai referensi sistem kendali gerak yang handal [15]. Baterai LiFePO4 menjadi alternatif sumber daya yang menjanjikan untuk sistem kendali kapal berbasis IoT karena memiliki performa daya yang stabil dan umur siklus yang panjang [16], sementara analisis daya baterai pada sistem kapal remote control berbasis ESP8266 menunjukkan pentingnya manajemen energi dalam operasional kapal tanpa kabel [17].

Untuk mendeteksi objek dan mengukur jarak dalam navigasi kapal, sensor ultrasonik seperti HC-SR04 telah dievaluasi tingkat akurasi dan presisinya, di mana pemilihan sensor yang tepat berpengaruh signifikan terhadap keandalan sistem navigasi [18]. Pada sisi pemantauan kualitas air, sensor suhu, pH telah diintegrasikan dalam sistem monitoring IoT berbasis tambak untuk mendukung pengambilan keputusan budidaya secara real-time [5]. Sistem monitoring kualitas air berbasis IoT pada tambak ikan bandeng. [19] menunjukkan bahwa pemantauan parameter air secara kontinu dapat memberikan informasi yang akurat bagi pembudidaya dalam mengelola kondisi tambak. Sebagai tambahan, integrasi sistem keamanan telah dikembangkan untuk mendukung pengawasan sistem akuakultur secara menyeluruh [20].

Dalam rangka mengotomatiskan penentuan jumlah pakan berdasarkan kondisi kualitas air secara adaptif, metode logika Fuzzy Mamdani menjadi pendekatan yang sangat relevan. Metode ini bekerja dengan mengonversi nilai numerik dari sensor menjadi variabel linguistik melalui fungsi

keanggotaan, kemudian mengaplikasikan aturan inferensi fuzzy untuk menghasilkan keputusan output yang optimal [21]. Keunggulan metode Fuzzy Mamdani terletak pada kemampuannya menangani ketidakpastian dan ketidakpresisian data sensor, serta kemudahan dalam merepresentasikan pengetahuan pakar dalam bentuk aturan IF-THEN yang intuitif [3]. Penerapan sistem kendali servo motor menunjukkan pentingnya sistem kendali yang mampu mengontrol jumlah pakan ikan [22]. Lebih lanjut, penggunaan sistem keamanan berbasis IoT pada berbagai aplikasi telah menunjukkan bahwa arsitektur sistem berbasis mikrokontroler dengan web server mampu memberikan solusi yang andal dan efisien [23].

Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan Rancang Bangun Kapal Pemberi Pakan Ikan Bandeng Berbasis IoT Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani, yakni sebuah sistem kapal yang dikendalikan melalui web server menggunakan mikrokontroler ESP32, dilengkapi sensor pH, sensor kekeruhan sebagai variabel input logika Fuzzy Mamdani untuk mengotomatiskan penentuan jumlah pakan ikan bandeng berdasarkan kondisi aktual kualitas air tambak secara real-time dan efisien.

TINJAUAN PUSTAKA

Ikan Bandeng

Ikan bandeng (*Chanos chanos*) merupakan salah satu spesies ikan air payau yang banyak dibudidayakan di kawasan tropis dan subtropis, terutama di wilayah Indo-Pasifik [18]. Secara biologis, bandeng termasuk ikan pelagis yang hidup di perairan pantai, laguna, dan tambak air payau, serta memiliki tingkat toleransi yang baik terhadap variasi salinitas dan suhu. Pada penelitian ini ikan bandeng berada pada fase pembesaran budidaya di tambak air tawar memalui proses adaptasi lingkungan yang memiliki karakteristik standart PH air 7-8,5 dan standart kekeruhan (Turbidity) 15-30 NTU. Dalam kegiatan budidaya, ikan bandeng memerlukan manajemen pakan yang tepat untuk mencapai pertumbuhan optimal. Efisiensi pemberian pakan menjadi faktor utama yang memengaruhi laju pertumbuhan, kesehatan ikan, serta biaya operasional tambak. Perkembangan teknologi otomasi dan Internet of Things (IoT) membuka peluang untuk meningkatkan efektivitas pemberian pakan dalam budidaya bandeng. Salah satu inovasi yang berkembang adalah penggunaan kapal pemberi pakan ikan otomatis (*automatic fish feeding boat*). Penggunaan kapal otomatis juga membantu mengurangi ketergantungan tenaga manusia, mempercepat proses pemberian pakan, dan meningkatkan akurasi jumlah pakan yang ditebar. Hal ini berdampak positif terhadap efisiensi biaya dan peningkatan tingkat kelangsungan hidup ikan bandeng (*survival rate*). Dengan demikian, inovasi kapal pemberi pakan otomatis menjadi solusi yang relevan dalam meningkatkan produktivitas tambak bandeng secara modern dan berkelanjutan.

Mikrokontroler ESP32

ESP32 DevKit V1 merupakan papan pengembangan (*development board*) yang berbasis pada mikrokontroler ESP32, sebuah *System on Chip (SoC)* yang dikembangkan oleh *Espressif Systems* [19]. Board ini dirancang untuk mempermudah proses prototipe dan pengembangan perangkat berbasis Internet of Things (IoT). ESP32 DevKit V1 mengintegrasikan berbagai komponen penting seperti modul Wi-Fi, modul Bluetooth, regulator tegangan, antarmuka pemrograman, dan deretan pin GPIO dalam satu rangkaian yang siap digunakan tanpa memerlukan rangkaian tambahan yang kompleks. Dalam konteks kapal pemberi pakan ikan otomatis, ESP32 DevKit V1 berperan sebagai unit kendali utama yang mengatur keseluruhan sistem. Dengan kemampuan Wi-Fi, board dapat menghubungkan kapal dengan aplikasi seperti Web Server sehingga pengguna dapat mengendalikan arah kapal, kecepatan motor, serta mekanisme penebaran pakan dari jarak jauh. Proses ini dilakukan secara *real time* dan dapat dipantau. Kombinasi performa tinggi, konektivitas lengkap, konsumsi daya rendah, fleksibilitas antarmuka, serta kemudahan pemrograman menjadikan ESP32 DevKit V1 sebagai salah satu perangkat yang banyak digunakan dalam penelitian, pendidikan, dan industri.

Motor DC 12V

Motor DC 12V adalah motor listrik yang bekerja menggunakan sumber tegangan arus searah (*Direct Current*/DC) sebesar 12 volt untuk menghasilkan putaran mekanis. Motor ini termasuk dalam kategori motor DC bertegangan rendah yang banyak digunakan pada berbagai perangkat

elektronika dan sistem otomasi karena memiliki respon yang cepat, kontrol yang mudah, dan efisiensi yang tinggi [20]. Dalam konteks kapal IoT di tambak ikan bandeng, motor DC 12V digunakan sebagai sistem propulsi untuk menggerakkan kapal maju, mundur, dan berbelok. Motor dapat dihubungkan dengan propeler air atau roda pendorong sesuai rancangan kapal.

Motor Driver BTS7960

Motor driver BTS7960 adalah modul pengendali motor arus searah (DC) berdaya tinggi yang menggunakan dua chip BTS7960 *half-bridge* dari *Infineon Technologies*. Driver ini dirancang untuk mengendalikan motor DC dengan arus besar hingga 43A dan tegangan kerja 5–27V, sehingga sangat cocok digunakan pada aplikasi yang membutuhkan torsi tinggi dan beban berat. Pada sistem kapal pemberi pakan ikan otomatis, BTS7960 sangat cocok dijadikan driver utama untuk mengontrol motor DC 12V penggerak kapal karena mampu menangani beban propeler yang besar, bekerja stabil, dan menerima perintah langsung dari ESP32.

Motor Servo MG995

Motor servo adalah sebuah motor yang berfungsi untuk menggerakkan dan mengatur posisi suatu mekanisme dengan sudut tertentu [22]. Di dalamnya terdapat motor DC kecil, rangkaian pengendali, dan potensiometer sebagai sensor posisi. Ketika menerima sinyal PWM dari mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32, servo ini dapat bergerak ke sudut yang diperintahkan dan berhenti dengan tepat pada posisi tersebut. Kemampuan ini membuat MG995 banyak digunakan pada sistem yang membutuhkan pergerakan presisi. Dalam sistem kapal otomatis pemberi pakan ikan, servo MG995 dapat digunakan sebagai penggerak kemudi atau sebagai mekanisme pemutar auger untuk mendorong pakan keluar secara bertahap. Dengan torsi yang cukup besar dan gear metal yang tahan lama, servo ini dapat bekerja stabil meskipun digunakan di lingkungan tambak yang tidak selalu ideal. Hal ini membuat MG995 cocok digunakan sebagai bagian dari sistem mekanik kapal otomatis yang memerlukan tenaga dan ketahanan

Sensor PH Air

Sensor pH air adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan dengan mendeteksi konsentrasi ion hidrogen (H^+) yang ada di dalam air. Nilai pH yang dihasilkan berada dalam rentang 0 hingga 14, di mana angka yang lebih rendah menunjukkan kondisi asam, angka 7 menunjukkan keadaan netral, dan angka yang lebih tinggi menandakan sifat basa. Sensor ini berperan penting dalam berbagai bidang seperti laboratorium, industri, pengolahan air, hingga budidaya perikanan karena perubahan pH dapat memengaruhi reaksi kimia dan kondisi biologis suatu lingkungan[23]. Dalam bidang budidaya ikan, termasuk tambak ikan bandeng, sensor pH air memiliki peran vital untuk menjaga kestabilan lingkungan perairan. pH yang tidak sesuai dapat mempengaruhi kesehatan ikan, tingkat stres, dan efisiensi penyerapan nutrisi. Oleh karena itu, sensor pH menjadi alat penting untuk memastikan kualitas air tetap optimal sehingga mendukung pertumbuhan ikan dan keberlanjutan produksi.

Sensor Kekeruhan (Turbidity)

Sensor turbidity adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur tingkat kekeruhan air dengan mendeteksi jumlah partikel tersuspensi (SSC) yang berada di dalam suatu larutan, dipengaruhi ukuran partikel seperti clay, silt, dan sand serta faktor zat organik dan pH yang memengaruhi hamburan cahaya [24]. Secara teknis, sensor turbidity menghasilkan output analog atau digital yang dapat dengan mudah dihubungkan ke mikrokontroler seperti Arduino, ESP32, atau modul IoT lain. Pada sistem IoT, sensor turbidity dapat mengirimkan data secara real-time ke server atau aplikasi sehingga kondisi air dapat dipantau dari jarak jauh. Pemanfaatan ini sangat berguna dalam sistem otomatis, termasuk pada kapal pemberi pakan ikan, karena tingkat kekeruhan dapat digunakan sebagai indikator kondisi air untuk menentukan kapan lingkungan perairan memerlukan tindakan tertentu seperti aerasi atau pembersihan kolam.

Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik HC-SR04 adalah jenis sensor pengukur jarak yang bekerja dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik berfrekuensi sekitar 40 kHz untuk mendeteksi keberadaan objek atau mengukur jarak secara akurat. Sensor ini terdiri dari dua komponen utama,

yaitu *transmitter* (pemancar) yang menghasilkan gelombang ultrasonik dan *receiver* (penerima) yang menangkap gelombang pantul (echo) setelah mengenai suatu objek [25]. HC-SR04 mengukur jarak berdasarkan selisih waktu antara gelombang yang dikirim dan gelombang yang diterima kembali oleh sensor. Perhitungan ini dikenal sebagai metode time of flight (TOF) yang memungkinkan pengukuran jarak secara cepat dan presisi.

Baterai Lifepo4 6ah 4s 12,8v

Baterai merupakan komponen vital dalam sistem kelistrikan kendaraan maupun perangkat elektronik modern. Salah satu jenis baterai yang saat ini banyak dikembangkan dan digunakan adalah Lithium Iron Phosphate atau yang lebih dikenal dengan sebutan LiFePO4. Baterai ini merupakan bagian dari keluarga baterai lithium-ion yang menggunakan besi fosfat (FePO4) sebagai material elektroda positif (katoda). Dibandingkan dengan jenis baterai konvensional seperti lead-acid (aki basah) maupun Nickel Cadmium (Ni-Cd), baterai LiFePO4 memiliki sejumlah keunggulan signifikan yang menjadikannya pilihan unggul untuk berbagai aplikasi, termasuk sistem kelistrikan pada kendaraan dan perangkat berbasis IoT [16]. Struktur kristal olivine yang dimiliki material LiFePO4 memberikan stabilitas termal dan kimia yang sangat baik, sehingga baterai ini tidak mudah mengalami thermal runaway (ledakan akibat panas berlebih) yang sering menjadi permasalahan pada baterai lithium-ion jenis lain. Keunggulan stabilitas termal ini menjadikan LiFePO4 lebih aman digunakan pada lingkungan dengan variasi suhu yang cukup ekstrem, seperti di lingkungan tambak atau perairan terbuka tempat kapal pemberi pakan ikan beroperasi.

Web Server

Web server merupakan sistem yang berfungsi untuk menerima, memproses, dan menyajikan data melalui jaringan komputer dengan menggunakan protokol HTTP. Dalam pengembangannya, bahasa pemrograman PHP (Hypertext Preprocessor) banyak digunakan sebagai server-side scripting karena mampu memproses data secara dinamis dan berinteraksi langsung dengan basis data. MySQL merupakan sistem manajemen basis data relasional yang digunakan untuk menyimpan, mengelola, dan menampilkan data secara terstruktur. Sejalan dengan kebutuhan sistem monitoring dan pencatatan data secara berkelanjutan, web server berbasis PHP dan MySQL dapat dimanfaatkan sebagai media penerima dan penyimpan data hasil pembacaan sensor yang dikirimkan oleh mikrokontroler melalui jaringan. Data berupa arus listrik, suhu, dan kelembaban disimpan ke dalam database MySQL sebagai data logging yang dapat diakses kembali untuk keperluan pemantauan maupun analisis. Pendekatan ini memungkinkan proses monitoring kondisi ruang kelas dilakukan secara *real time* sekaligus menyediakan data historis yang diperlukan untuk analisis perbandingan konsumsi energi sebelum dan sesudah penerapan sistem otomasi.

Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) adalah sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk menulis, mengedit, mengompilasi, dan mengunggah program (*sketch*) ke papan mikrokontroler Arduino maupun board kompatibel seperti ESP8266 dan ESP32. Arduino IDE menyediakan antarmuka sederhana dan mudah digunakan sehingga cocok untuk pemula maupun profesional dalam pengembangan sistem elektronik dan Internet of Things (IoT) [27]. Di dalamnya terdapat editor kode, *compiler*, dan *uploader* yang terintegrasi, sehingga pengguna dapat menuliskan program dengan bahasa pemrograman berbasis C/C++ lalu mengirimkannya langsung ke perangkat Arduino melalui USB atau koneksi lainnya.

Metode Fuzzy Mamdani

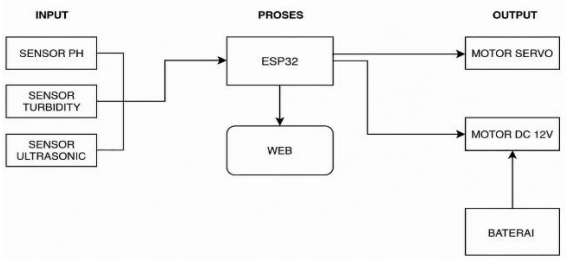
Metode ***Fuzzy* Mamdani** adalah salah satu jenis sistem logika *fuzzy* yang paling banyak digunakan untuk proses pengambilan keputusan, terutama pada kasus yang membutuhkan penalaran menyerupai cara berpikir manusia [28]. Metode ini bekerja dengan menggunakan aturan-aturan berbentuk *IF–THEN* yang disusun berdasarkan pengetahuan pakar atau kondisi lapangan. Setiap aturan memiliki himpunan *fuzzy* baik pada bagian premis (*input*) maupun konsekuen (*output*). Proses dalam Mamdani meliputi *fuzzifikasi* (mengubah nilai *input* menjadi derajat keanggotaan *fuzzy*), *inferensi* menggunakan aturan-aturan yang telah ditetapkan, penggabungan hasil aturan, dan terakhir *defuzzifikasi* untuk mengubah keluaran *fuzzy* menjadi nilai tegas. Karena mampu

menggambarkan hubungan yang kompleks secara intuitif dan mudah dipahami, metode Mamdani sering dipakai dalam sistem kontrol otomatis seperti pengatur suhu, pengendalian motor, serta sistem pemberi pakan otomatis pada budidaya perikanan.

METODE

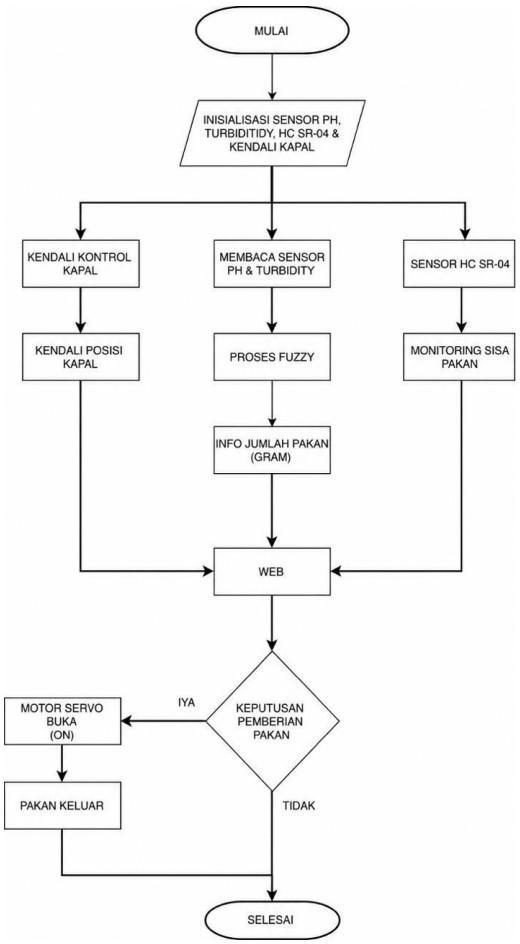
Perancangan sistem

Pada penelitian ini terdapat tahap perancangan sistem yang berisi tentang gambaran umum dari komponen yang digunakan baik sebagai input, output, serta komponen pemrosesan yang digunakan dari tahap awal sampai akhir.



Gambar 1. Perancangan Sistem

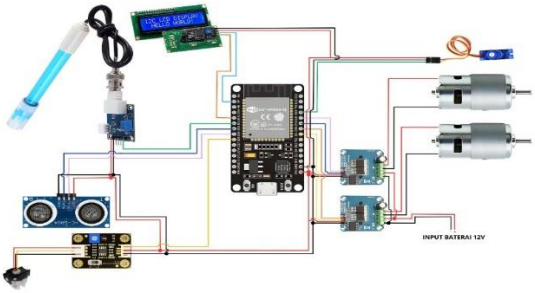
Gambar tersebut menunjukkan sistem kapal penebar pakan ikan berbasis Internet of Things (IoT) dengan ESP32 sebagai pusat kendali yang mengintegrasikan sensor, aktuator, dan antarmuka pemantauan. Sistem menggunakan aki 12 V sebagai sumber daya utama untuk menyuplai ESP32 dan motor DC 12 V melalui rangkaian pendukung dan motor driver. ESP32 menerima dan mengolah data dari sensor pH dan turbidity untuk memantau kualitas air tambak serta sensor ultrasonik untuk mengukur sisa pakan pada wadah penyimpanan. Data sensor diproses sebagai dasar pengambilan keputusan dalam otomatisasi jumlah pakan dan pemantauan kondisi sistem. ESP32 terhubung dengan Web Server sebagai antarmuka pengguna untuk memantau data secara *real time* dan mengendalikan kapal secara manual melalui smartphone. Perintah ESP32 diteruskan ke motor driver untuk mengatur arah dan kecepatan motor DC 12 V sebagai penggerak kapal, serta motor servo sebagai pemutar auger untuk mengeluarkan pakan secara bertahap. Dengan demikian, sistem mengintegrasikan pemantauan kualitas air, ketersediaan pakan, pergerakan kapal, dan pemberian pakan dalam satu sistem berbasis IoT.



Gambar 2. *Flowchart* Sistem

Pada perancangan sistem, alur kerja kapal pemberi pakan ikan bandeng diawali dengan inisialisasi ESP32 yang meliputi konfigurasi pin, sensor, dan parameter komunikasi. Selanjutnya dilakukan koneksi jaringan dengan Web Server. Jika koneksi gagal, sistem kembali ke tahap inisialisasi hingga koneksi berhasil. Setelah terhubung, ESP32 membaca sensor pH dan turbidity untuk mengetahui kondisi air tambak, kemudian data diproses menggunakan logika *fuzzy* untuk menentukan rekomendasi jumlah pakan. Secara paralel, sensor ultrasonik HC-SR04 membaca ketinggian sisa pakan, sedangkan modul kontrol mengatur pergerakan kapal melalui motor DC dan motor driver. Seluruh data sensor dan hasil *fuzzy* dikirim ke Web Server untuk pemantauan jarak jauh secara *real time*. Berdasarkan data dan perintah pengguna, sistem menentukan proses pemberian pakan. Jika keputusan "beri pakan" terpenuhi, motor servo memutar auger untuk mengeluarkan pakan secara bertahap sesuai hasil *defuzzifikasi*. Jika tidak, sistem melanjutkan pemantauan hingga siklus berakhir.

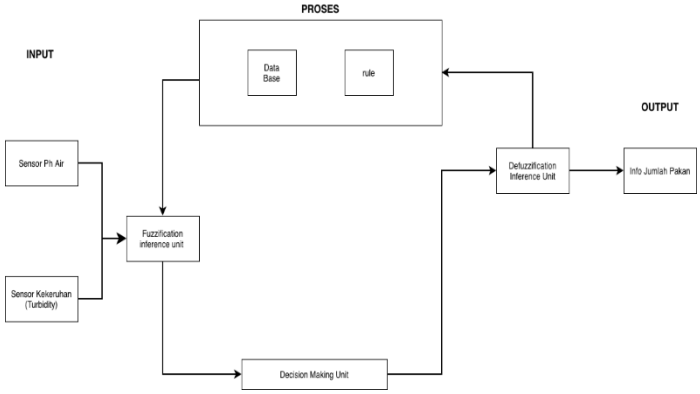
Perancangan Desain *Hardware*



Gambar 3. Desain *Hardware*

Perancangan Desain *Software*

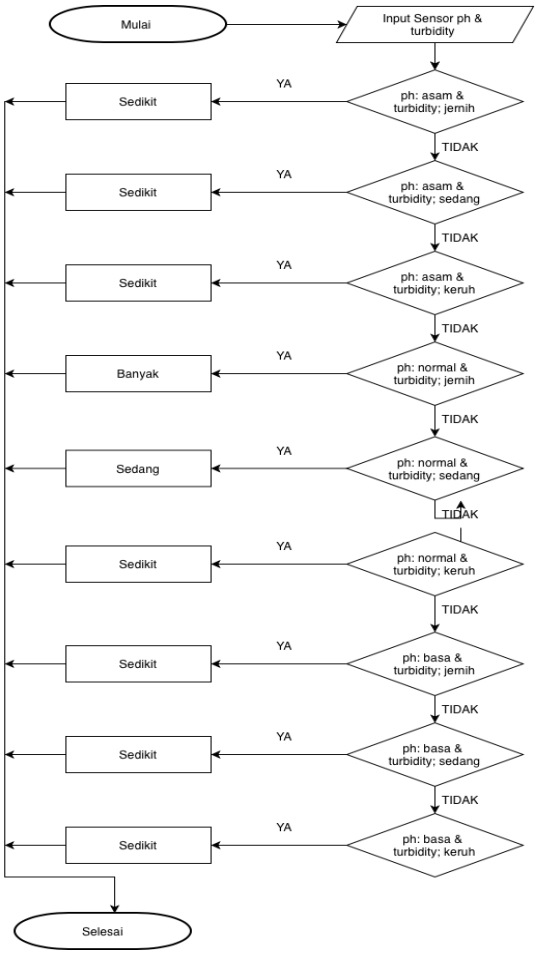
1. Desain arsitektur perangkat lunak
   - Perangkat lunak dibagi menjadi beberapa modul: inisialisasi, pembacaan sensor, pengolahan logika *fuzzy*, kendali aktuator, dan komunikasi dengan Web Server.
   - Pembagian modul bertujuan memudahkan pengembangan, pemeliharaan, dan pengujian program.
   - Program utama (loop) dirancang untuk memantau sensor secara kontinu dan merespon perintah pengguna secara real time.
2. Perancangan alur program ESP32
   - Diawali dengan inisialisasi: konfigurasi pin I/O, komunikasi serial, Wi-Fi, Web Server, sensor, dan aktuator.
   - Setelah inisialisasi, loop utama membaca nilai pH, kekeruhan, jarak sisa pakan (ultrasonik), dan perintah dari Web Server secara periodik.
   - Data sensor diproses di fungsi logika *fuzzy* untuk menghasilkan rekomendasi jumlah pakan, sementara sinyal Web Server dipakai untuk kontrol gerak kapal dan trigger pemberian pakan.
3. Desain diagram blok logika *fuzzy*



Gambar 4. Diagram Blok Logika *Fuzzy*

4. Perancangan modul komunikasi Web Server
   - ESP32 dikonfigurasi terhubung ke server Web Server dengan token autentikasi dan parameter jaringan tertentu.
   - Aplikasi Web Server menggunakan widget joystick, tombol, dan grafik sebagai antarmuka pengguna.
   - Data pH, kekeruhan, dan level pakan dikirim ke Web Server melalui virtual pin untuk pemantauan *real time*.Joystick mengendalikan arah dan kecepatan kapal, sedangkan tombol/saklar berfungsi sebagai perintah aktivasi pemberian pakan.
5. Desain modul kendali aktuator
   - Modul ini mengubah keluaran *fuzzy* dan perintah pengguna menjadi sinyal PWM/logika digital untuk BTS7960, ESC, dan motor servo.
   - Nilai joystick dipetakan ke PWM motor DC melalui motor driver agar kapal dapat maju, mundur, dan berbelok dengan kecepatan proporsional.
   - Hasil *defuzzifikasi* menentukan sinyal PWM ke motor servo untuk memutar auger untuk mendorong pakan keluar secara bertahap.
   - Disertakan proteksi perangkat lunak: batas maksimum durasi pemberian pakan dan penanganan kondisi error sensor agar sistem tetap aman

Penerapan Fuzzy



Gambar 5. *Flowchart Fuzzy*

Setelah alur pengambilan keputusan pada *flowchart fuzzy* dijelaskan, tahap berikutnya adalah pendefinisian fungsi keanggotaan *flowchart* yang merepresentasikan variabel *input* pH air, kekeruhan, serta variabel *output* jumlah pakan dalam bentuk himpunan linguistik beserta rentang ambang batasnya, sebagaimana ditunjukkan pada dua tabel set *input fuzzy* dan satu set *output fuzzy* berikut:

Tabel 1.Himpunan *Variable Input Fuzzy* PH Air

Himpunan *fuzzy* ph air	**Rentang ambang batas**
Asam	5 – 6
Normal	7 – 8
Basa	9 – 10

Tabel 2. Himpunan *variabel input fuzzy* kekeruhan *(turbidity)*

Himpunan *fuzzy* kekeruhan (turbidity)	**Rentang ambang batas (NTU)**
Jernih	< 15 NTU
Sedang	15 > 25 NTU
Keruh	> 30 NTU

Tabel 3. Himpunan *variabel output fuzzy*

Himpunan *fuzzy*	Rentang (gram)
Sedikit	0 – 100 g
Sedang	80 – 300 g
Banyak	250 – 500 g

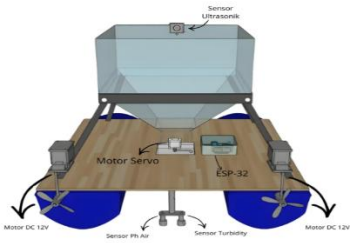
Setelah himpunan *fuzzy* untuk setiap variabel *input* dan *output* didefinisikan pada ketiga tabel sebelumnya, hubungan antarvariabel tersebut kemudian dirumuskan dalam bentuk aturan *IF–THEN* yang disajikan pada Tabel 3.4 sebagai tabel inferensi rule, sehingga kombinasi kondisi pH air dan kekeruhan dapat langsung dipetakan menjadi keputusan jumlah pakan yang diberikan.

Tabel 4. *Inferensi Rule*

Sensor Ph Air	Sensor Turbidity	Jumlah Pakan
Asam	Jernih	Sedikit
Asam	Sedang	Sedikit
Asam	Keruh	Sedikit
Normal	Jernih	Banyak
Normal	Sedang	Sedang
Normal	Keruh	Sedikit
Basa	Jernih	Sedikit
Basa	Sedang	sedikit
Basa	Keruh	sedikit

Tabel *fuzzy* tersebut menjelaskan hubungan antara parameter pH air dan tingkat kekeruhan terhadap jumlah pakan yang diberikan pada ikan. Pada kondisi pH normal dengan kekeruhan air jernih, sistem *fuzzy* memberikan keluaran “banyak” pakan karena kualitas air masih baik sehingga ikan dapat memanfaatkan pakan secara optimal. Sementara itu, pada hampir semua kombinasi lain baik pH asam maupun basa, serta kekeruhan sedang maupun keruh aturan *fuzzy* hanya menghasilkan keluaran “sedikit” pakan, sehingga beban organik di air tetap minimal dan tidak memperburuk kualitas air. Dengan demikian, tabel ini menggambarkan strategi pengendalian pemberian pakan yang memaksimalkan pertumbuhan ikan sambil mengurangi risiko penurunan kualitas air melalui penyesuaian dosis pakan terhadap kondisi aktual pH dan kekeruhan air.

Desain *Prototype*

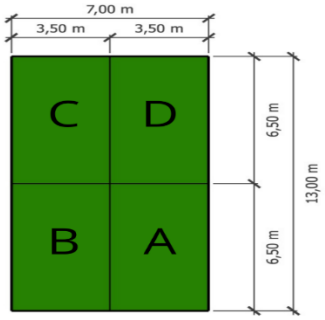


Gambar 6. Desain *Prototype*

Spesifikasi mekanik yang digunakan seperti berikut:

1. Dimensi dan struktur
   a) Badan kapal berupa platform datar dari material papan yang di topang dua lambung sisi kanan dan kiri.
   b) Diatas dek terdapat rangka penyangga dan satu tangka berbentuk hopper (corong) untuk menampung pakan.
2. Penggerak kapal
   Dua buah motor DC 12V ditempatkan di kiri dan kanan belakang dek kapal sebagai pendorong utama dengan baling-baling propeller

Desain *Layout* Pemetaan Tambak



Gambar 7. Desain *Layout* Pemetaan Tambak

Desain layout ini merupakan kolam uji coba berbentuk persegi panjang yang dibagi menjadi empat petak sama luas untuk mengatur tahap pengujian model kapal secara bertahap dan terkontrol. Petak A, B, C, dan D. Untuk ukuran keseluruhan layout pemetaan tambak panjangnya 13 meter dan untuk lebarnya 7 meter. Untuk setiap petaknya memiliki panjang 6,5 meter dan untuk lebarnya 3,5 meter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perancangan Hardware



Gambar 8. Prototipe kapal pemberi pakan ikan

Tabel 5. Komponen Hardware

No	Komponen	Spesifikasi	Fungsi
1	ESP32	240 MHz dual-core, Wi-Fi 802.11 b/g/n, 38 pin	Mikrokontroler utama & web server lokal
2	Sensor pH	Elektroda kaca, rentang 0–14 pH, resolusi ±0,1	Membaca nilai pH air tambak
3	Sensor Turbidity	Output analog, rentang 0–3000 NTU	Membaca kekeruhan air tambak
4	Sensor Ultrasonik HC-SR04	Jangkauan 2–400 cm, resolusi 0,3 cm	Mendeteksi sisa pakan dalam hopper
5	Motor DC 12V	12V, 100–300 RPM, propeller	Penggerak utama kapal (kiri & kanan)
6	Driver BTS7960	43A peak, 12V, kontrol PWM	Mengatur arah & kecepatan motor DC
7	Motor Servo MG995	Sudut 0–180°, torsi 1,8 kg·cm	Memutar auger untuk mendorong pakan keluar secara bertahap
8	2.9 Baterai Lifepo4 6ah 4s 12,8v 7Ah	Lead Acid 12V 7Ah	Sumber daya utama seluruh sistem

Hasil Perancangan Web Server

Desian web pada pengujian ini digunakan untuk pengendalian kapal, menampilakan nilai pH air tambak, kekeruhan air tambak dan Mendeteksi sisa pakan dalam hopper. Untuk tampilan web dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 9. Tampilan Dasboard

Pengujian Kalibrasi Sensor PH Air

Pengujian kalibrasi sensor pH menggunakan larutan buffer pH standar sebagai referensi pada tujuh nilai pH yang mencakup seluruh rentang himpunan. Kalibrasi dua titik dilakukan menggunakan buffer pH 4 dan pH 7 sebelum pengujian. Setiap pengujian diulang tiga kali dan diambil nilai rata-ratanya.

Tabel 6. Hasil Kalibrasi Sensor PH Air

No	pH Referensi (Buffer)	Pembacaan Sensor	Error (%)	Akurasi	Keterangan
1	pH 4 (Asam)	4,07	1,75%	98,25%	Baik
2	pH 5 (Asam)	4,96	0,80%	99,20%	Baik
3	pH 6 (Asam-Normal)	6,02	0,33%	99,67%	Sangat Baik
4	pH 7 (Normal)	7,00	0,00%	100%	Sangat Baik
5	pH 8 (Normal-Basa)	7,97	0,38%	99,62%	Sangat Baik
6	pH 9 (Basa)	9,05	0,56%	99,44%	Baik
7	pH 10 (Basa)	10,08	0,80%	99,20%	Baik
	Rata-rata Error		0,66%	99,34%	Baik

Nilai eror dihitung langsung dari pembacaan sensor dan nilai referensi menggunakan rumus berikut:

$$Eror\ (\%) = \frac{pH_{Referensi} - pH_{Sensor}}{pH_{Referensi}} \times 100\% \quad (1)$$

Proses perhitungan rata rata eror diperolah dari penjumlahan seluruh nilai error dan di bagi dengan jumlah data pengujian maka nilai eror yang di dapat Adalah 0.66% yang dinyatakan baik

Pengujian Kalibrasi Sensor Turbidity

Pengujian kalibrasi sensor turbidity mengacu pada Tabel 3.6, menggunakan larutan tanah lempung dalam air suling dengan konsentrasi terverifikasi. Pengujian mencakup enam nilai NTU yang tersebar pada ketiga kategori himpunan fuzzy turbidity.

Tabel 7. Hasil Kalibrasi Sensor Turbidity

No	Kondisi Pengujian (NTU Referensi)	Pembacaan Sensor (NTU)	Error (%)	Akurasi	Keterangan
1	5 NTU (Jernih)	5,3	6,00%	94%	Cukup
2	10 NTU (Jernih)	9,8	2,00%	98%	Baik
3	15 NTU (Sedang)	15,4	2,67%	97.33%	Baik
4	25 NTU (Sedang)	24,6	1,60%	98,40%	Baik
5	35 NTU (Keruh)	35,8	2,29%	97,71%	Baik

6	50 NTU (Keruh)	49,2	1,60%	98,40%	Baik
	Rata-rata Error		2,69%	97,31%	Baik

Nilai eror dihitung langsung dari pembaca sensor dan nilai referensi menggunakan rumus berikut:

$$Eror\ (\%) = \frac{NTU_{Referensi} - NTU_{Sensor}}{NTU_{Referensi}} \times 100\% \quad (2)$$

Proses perhitungan rata rata eror diperolah dari penjumlahan seluruh nilai error dan di bagi dengan jumlah data pengujian maka nilai eror yang di dapat Adalah 2,69% yang dinyatakan baik

Pengujian Kalibrasi Sensor Utrasonik

Pengujian kalibrasi sensor ultrasonik dilakukan pada empat jarak yang merepresentasikan kondisi level pakan dalam hopper: pakan penuh 2 cm, pakan sedang 4 cm, pakan hampir habis 8 cm, dan habis 11,5 cm. Jarak referensi diukur dengan penggaris baja.

Tabel 8. Hasil Kabibrasi Sensor Ultrasonik

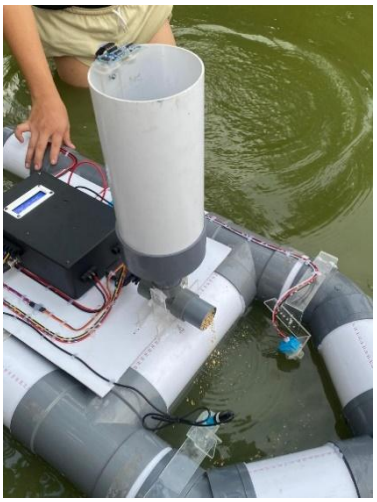
No	Kondisi Pengujian (Jarak Aktual)	Pembacaan Sensor (cm)	Error (%)	Akurasi	Keterangan
1	2 cm (Pakan Penuh)	2,1	5,00%	95%	Cukup
2	4 cm (Pakan Sedang)	4,0	0,00%	100%	Sangat Baik
3	8 cm (Pakan Hampir Habis)	8,2	2,50%	97,50%	Baik
4	11,5 cm (Pakan Habis)	11,6	0,87%	99,13%	Sangat Baik
	Rata-rata Error		**2,09%**	**97,91%**	**Baik**

Nilai eror dihirung langsung dari pembacaan sensor dan nilai referensi mengunakan rumus berikut:

$$Eror\ (\%) = \frac{Jarak_{Referensi} - Jarak_{Sensor}}{Jarak_{Referensi}} \times 100\% \quad (3)$$

Proses perhitungan rata rata eror diperolah dari penjumlahan seluruh nilai error dan di bagi dengan jumlah data pengujian maka nilai eror yang di dapat Adalah 2,09% yang dinyatakan baik

Hasil Pengujian Motor Servo



Gambar 10. Proses Pengeluaran Pakan Ikan dari Hopper

Pengujian motor servo, dilakukan untuk memverifikasi hubungan terhadap sudut durasi Pemutar auger servo. Hopper diisi pelet ikan bandeng komersial berdiameter 11,5 cm, dan massa pakan diukur menggunakan timbangan digital.

Tabel 9. Hasil Pengujian Motor Servo

No	Kondisi	Sudut Servo	Estimasi Pakan	Keterangan
1	0 detik (Tertutup)	0°	0 g	Servo tertutup
2	1 detik (Sedikit)	30°	5 – 15 g	Terbuka sebagian kecil
3	2 detik (Sedang)	90°	20 – 50 g	Terbuka setengah
4	3 detik (Banyak)	150°	60 – 100 g	Terbuka penuh

Hasil Pengujian Sistem Kenali Navigasi Kapal

Pengujian sistem kendali navigasi, dilakukan di kolam uji berukuran 13 × 7 meter yang terbagi menjadi empat petak (A, B, C, D) masing-masing 6,5 × 3,5 meter sesuai desain layout pemetaan tambak pada. Perintah navigasi dikirim melalui tombol pada web di browser smartphone oleh web server ESP32, dan langsung dieksekusi ke motor DC. Setiap perintah diuji 10 kali pengulangan.

Tabel 10. Hasil Pengujian Kendali Navigasi Kapal

No	Kondisi Pengujian	Motor Kiri	Motor Kanan	Hasil
1	Maju	Forward (PWM Penuh)	Forward (PWM Penuh)	Berhasil
2	Maju Samping Kiri	Stop	Forward (PWM Penuh)	Berhasil
3	Kiri	Reverse (PWM Penuh)	Forward (PWM Penuh)	Berhasil
4	Mundur Samping Kiri	Stop	Reverse (PWM Penuh)	Berhasil
5	Mundur	Reverse (PWM Penuh)	Reverse (PWM Penuh)	Berhasil
6	Mundur Samping Kanan	Reverse (PWM Penuh)	Stop	Berhasil
7	Kanan	Forward (PWM Penuh)	Reverse (PWM Penuh)	Berhasil
8	Maju Samping Kanan	Forward (PWM Penuh)	Stop	Berhasil

Hasil Pengujian Web Server ESP32

Pengujian web server ESP32 dilakukan untuk memverifikasi bahwa seluruh fungsi komunikasi berbasis web berjalan dengan baik, mencakup koneksi jaringan, aksesibilitas web dari smartphone, pengiriman data sensor secara real time, dan respons terhadap perintah kendali.

Tabel 11. Hasil Pengujian Web Server

No	Skenario Pengujian	Berhasil	Tidak Berhasil
1	ESP32 terhubung ke jaringan Wi-Fi lokal	✓	
2	ESP32 mendapatkan IP address dari router	✓	
3	Web server aktif dan dapat diakses via browser smartphone (http://[IP ESP32])	✓	
4	Halaman dashboard web berhasil dimuat di browser mobile	✓	
5	Data sensor pH tampil secara real time di halaman web	✓	
6	Data turbidity tampil secara real time di halaman web	✓	
7	Level pakan (ultrasonik) tampil di halaman web	✓	
8	Output fuzzy (kategori dan jumlah pakan) tampil di halaman web	✓	
9	Endpoint API /sensor merespons data JSON dalam < 500 ms	✓	
10	Halaman web dapat diakses dari smartphone berbeda dalam jaringan yang sama	✓	

Hasil Pengujian Sistem Berdasarkan Pemetaan Tambak

Pengujian berdasarkan pemetaan tambak dilakukan pada kolam uji 13 × 7 meter yang dibagi menjadi empat petak sama luas (A, B, C, D masing-masing 6,5 × 3,5 meter). Pengujian ini memverifikasi kemampuan kapal bernavigasi ke seluruh petak, mendistribusikan pakan, dan menampilkan data real time pada antarmuka web selama operasi berlangsung.

Tabel 12. Hasil Pengujian Sistem Pemetaan Tambak

No	Petak	Skenario Pengujian	Berhasil	Tidak Berhasil
1	A	Kapal dinavigasi ke Petak A, distribusi pakan, data sensor terbaca dan tampil di web	✓	
2	B	Kapal berpindah dari Petak A ke B, distribusi pakan dilanjutkan, web diperbarui	✓	
3	C	Kapal berpindah ke Petak C, sensor membaca kondisi berbeda, halaman web menampilkan data terbaru	✓	
4	D	Kapal menyelesaikan satu siklus pemetaan penuh (A→B→C→D), semua data tersimpan dan tampil di web	✓	

Hasil Pengujian Sistem Pada Web Server

Pengujian sistem pada web dengan lima skenario yang mencakup seluruh fungsi utama sistem dari koneksi dasar hingga pengujian fuzzy secara end-to-end.

Tabel 13. Hasil Pengujian Sistem Web Server

No	Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil
1	Koneksi ESP32 ke Wi-Fi	ESP32 terhubung dan web server aktif, IP address tersedia	ESP32 berhasil terhubung, IP lokal diperoleh, web server berjalan
2	Akses halaman web dari smartphone	Dashboard web terbuka di browser mobile dengan tampilan responsif	Halaman web berhasil dimuat, layout menyesuaikan layar smartphone
3	Pemantauan data sensor real time	Halaman web menampilkan nilai pH, turbidity, dan level pakan secara otomatis	Ketiga nilai tampil dan diperbarui otomatis setiap 1 detik
4	Pengujian kendali navigasi kapal	Kapal dikendalikan melalui tombol navigasi di halaman web (maju, mundur, belok)	Kapal merespons perintah dengan latensi ≤ 300 ms, sesuai tombol yang ditekan
5	Pengujian tampilan output logika fuzzy	Hasil proses fuzzy berupa kategori pakan tampil di halaman web	Kategori (Sedikit/Sedang/Banyak) dan estimasi gram tampil sesuai kondisi sensor

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem kapal pemberi pakan ikan bandeng berbasis IoT menggunakan metode Fuzzy Mamdani, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dibangun dapat bekerja secara terintegrasi dan memenuhi tujuan penelitian yang telah ditetapkan. Sistem kapal IoT berhasil dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali sekaligus web server lokal, di mana kapal mampu dioperasikan secara real time melalui antarmuka web yang diakses dari browser smartphone dengan delapan pola arah navigasi.

Hasil kalibrasi ketiga sensor menunjukkan tingkat akurasi yang baik dan memenuhi standar keandalan yang sebanding dengan penelitian terdahulu. Sensor pH memperoleh rata-rata error 0,66% dengan akurasi 99,34%, sensor turbidity memperoleh rata-rata error 2,69% dengan akurasi 97,31%, dan sensor ultrasonik HC-SR04 memperoleh rata-rata error 2,09% dengan akurasi 97,91%, sehingga seluruh sensor dapat dinyatakan dapat digunakan sebagai variabel input sistem secara andal.

Metode Fuzzy Mamdani berhasil diintegrasikan pada sistem pemberian pakan secara otomatis berdasarkan dua variabel input, yakni nilai pH air dan tingkat kekeruhan. Sistem menghasilkan tiga kategori output jumlah pakan, yaitu Sedikit (5–15 g), Sedang (20–50 g), dan Banyak (60–100 g), yang dieksekusi oleh motor servo MG995 pada sudut 30°, 90°, dan 150° secara berturut-turut. Strategi pengendalian ini mampu memaksimalkan jumlah pakan pada kondisi air optimal sekaligus membatasi distribusi pakan pada kondisi kualitas air yang tidak ideal, sehingga beban organik di tambak dapat diminimalkan.

Secara keseluruhan, sistem web server ESP32 berhasil menjalankan seluruh fungsi pemantauan dan kendali, di mana pengujian terpenuhi mencakup koneksi Wi-Fi, pembacaan data sensor dengan pembaruan, kendali navigasi melalui joystick virtual, serta tampilan output logika fuzzy secara real time. Pengujian berdasarkan pemetaan tambak pada kolam uji berukuran 13 × 7 meter dengan empat petak operasional (A, B, C, D) juga menunjukkan bahwa kapal mampu bernavigasi ke seluruh area, mendistribusikan pakan, dan memperbarui data antarmuka web secara konsisten pada seluruh skenario pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Kurniaji and E. Deasty, “Pertumbuhan Larva Ikan Bandeng (Chanos chanos) yang Diberikan Pakan Alami Brachionus Plicatillis dan Chlorella sp . Growth of Milkfish (Chanos chanos) Larvae Reared with Natural Feed Brachionus plicatillis and Chlorella sp .,” vol. 4, no. 1, pp. 23–28, 2022.

[2] R. A. Pradika, E. Rosyida, and S. R. Yusuf, “Available online at : PISSN : 1412-3657 EISSN : 2716-5078 "PEMBERIAN PAKAN BERBEDA TERHADAP PERTUMBUHAN DAN KELANGSUNGAN HIDUP IKAN BANDENG ” vol. 22, no. 3, pp. 136–143, 2021.

[3] E. M. Indrawati, B. Suprianto, and U. T. Kartika, “Pemberi Pakan Ikan Otomatis berbasis IoT dengan FLC Berdasarkan Kualitas Air (Suhu , PH , Kekeruhan),” vol. 13, no. 3, pp. 383–394, 2024.

[4] A. P. Wahyuni, M. Firmansyah, P. Studi, M. Sumber, D. Perairan, and U. M. Sinjai, “STUDI KUALITAS AIR UNTUK BUDIDAYA IKAN BANDENG (Chanos chanos Forsskal) Di TAMBAK KELURAHAN SAMATARING KECAMATAN SINJAI TIMUR,” vol. 5, no. 1, pp. 106–113, 2020.

[5] F. Chuzaini, D. Wedi, S. Mata, A. Grogolan, D. Ngunut, and S. Tirta, “IoT MONITORING KUALITAS AIR DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR SUHU , pH , DAN TOTAL DISSOLVED SOLIDS (TDS),” vol. 11, pp. 46–56, 2022.

[6] J. Kim, S. Kwon, S. Chung, and Y. Do Kim, “Turbidity and suspended sediment relationship based on sediment composition and particle size distribution,” pp. 1–12, 2025.

[7] M. Iryanti, A. Aminudin, and L. Hasanah, “Penguatan Kelompok Ternak Ikan Bandeng melalui Pemantau Kualitas Air,” pp. 237–244.

[8] M. Aqsha, R. Sugiarto, M. Muhtarom, A. Ayu, and K. Asri, “Implementasi Sistem Pemberian Pakan Ikan Hias Otomatis Menggunakan Esp32 Berbasis IoT (Internet of Things),” vol. 5, no. 3, pp. 2781–2791, 2024.

[9] Z. Ariyandi, “Design of an Internet of Things (IoT) -Based Fish Feeder System Using an Android Application,” vol. 9, no. 4, 2025.

[10] T. Informatika, U. Pamulang, and T. Selatan, “Rancang Bangun Aplikasi Monitoring Alat Pemberi Pakan Ikan Otomatis Berbasis Web Menggunakan Protokol Hybrid Websocket Dan Mqtt Dengan Metode Model V,” vol. 3, no. 4, pp. 241–247, 2025.

[11] I. M. Ivan, W. Cakra, R. S. Rahmany, and C. Batubara, “Jurnal Mekanik Terapan Pengembangan Sistem Monitoring IoT Microbubble Generator Berbasis ESP 32 Untuk Mendukung Akuakultur,” vol. 06, no. 02, pp. 99–108, 2025, doi: 10.32722/jmt.v6i2.7666.

[12] V. J. Huwae and T. Informatika, "PERANCANGAN MIKROKONTROLER EMBEDEDD WEB SERVER UNTUK SISTEM," vol. 1, no. 1, pp. 519–526, 2017.
[13] M. Khadafi, A. M. H. Pardede, and H. Sembiring, "Design of a Guest Face Detection Tool Using ESP32-CAM Based on Internet of Things (IoT)," vol. 4, no. 1, pp. 2–8, 2024.
[14] M. Luqman, B. Anggraheny, and A. Murtono, "Aplikasi dan unjuk kerja motor driver L-298 dan BTS7960 sebagai power switching pada inverter," vol. 23, no. 1, pp. 9–15, 2025, doi: 10.33795/eltek.v23i1.6656.
[15] R. Hansza, "RANCANG BANGUN KONTROL MOTOR DC DENGAN PID MENGGUNAKAN PERINTAH SUARA DAN MONITORING BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)".
[16] N. Alia, F. A. Perdana, E. Weddakarti, and C. Gunawan, "Performance Analysis of LiFePO4 Batteries as a Replacement for Motorcycle Accumulators," vol. 03, no. 01, pp. 163–169, 2025.
[17] F. Kausar, M. Rizki, and S. Mansur, "Analisis Performa Daya Baterai untuk Sistem Kendali Kapal Remote Control Berbasis ESP8266 ESP-12F," vol. 20, no. 01.
[18] D. A. N. Ayyuw, "*Comparison Of Accuracy And Precision Of Distance Readings On* Hc-Sr04 , Jsn-Sr04t , And A02yyuw Ultrasonic Sensors Perbandingan Tingkat Akurasi Dan Presisi Pembacaan Jarak Pada Sensor Ultrasonik Hc-Sr04 , JSN-," vol. 27, no. 1, pp. 19–29, 2025.
[19] F. A. Maharani, M. Fathurahman, and A. Rachman, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air Berbasis Internet Of Things (IoT) pada Tambak Ikan Bandeng Abstrak," vol. 5, no. April, pp. 225–231, 2024.
[20] H. M. Syaban, T. Mufizar, and U. P. Tasikmalaya, "MENGGUNAKAN SENSOR PIR DENGAN NOTIFIKASI," vol. 12, no. 2, 2024.
[21] I. Karima and A. Rahman, "Implementasi Metode Fuzzy Mamdani dalam Pengambilan Keputusan Rekomendasi Jumlah Produksi," vol. 1, no. 1, pp. 24–34, 2024.
[22] J. Qiu, "An Intelligent Control Method for Servo Motor Based on Reinforcement Learning," pp. 1–15, 2024.
[23] R. Bangun, S. Keamanan, and R. Berbasis, "Jurnal Comasie," vol. 01, 2022.