

I. PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertandatangan di bawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir kami yang berjudul : “Sistem Pendeteksi Formalin pada Ikan dengan Sensor HCHO dan Sensor pH Menggunakan Metode Fuzzy Logic” adalah **hasil karya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.** Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.



Rainhart Sitohang
NIM: 4242111018

Batam, 30 Juli 2025



Jum Malindo Siregar
NIM: 4242111023

Sistem Pendeteksi Formalin pada Ikan dengan Sensor HCHO dan Sensor pH Menggunakan Metode Fuzzy Logic

Rainhart Sitohang¹, Jum Malindo Siregar¹, Illa Aryeni¹, Hana Mutialif Maulidiah²
Ririn Humaera¹, Handri Toar^{3*}

¹Jurusan Teknik Elektro, Prodi Teknologi Rekayasa Elektronika, Politeknik Negeri
Batam, Batam, Indonesia

²Jurusan Teknik Elektro, Prodi Teknik Elektronika Manufaktur, Politeknik
Negeri Batam, Batam, Indonesia

³Jurusan Teknik Elektro, Prodi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi,
Politeknik Negeri Batam, Batam, Indonesia

*Email: toar@polibatam.ac.id

Received on dd-mm-yyyy | Revised on dd-mm-yyyy | Accepted on dd-mm-yyyy

Abstract— Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pendeteksi kadar formalin dan pH pada ikan menggunakan metode Logika Fuzzy Mamdani. Sistem terdiri dari sensor HCHO dan sensor pH sebagai input sistem, dan mikrokontroler Arduino Mega 2560 sebagai pemroses data. Data diproses secara *real-time* dan diklasifikasikan ke dalam tiga kategori. Pengujian dilakukan pada sampel ikan kakap dengan durasi 1–60 menit dan pengulangan 10 kali percobaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat keakuratan sistem sebesar 91%. Sistem mampu mengidentifikasi kadar formalin serta mengklasifikasikannya pada kategori aman (formalin 0 ppm, pH 6,5), waspada (12,42 ppm, pH 6,64), dan bahaya (19,29 ppm, pH 5,42). Implementasi sistem ini dapat memudahkan pendeteksian formalin pada ikan secara langsung dan dapat membantu meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap bahaya formalin. Sistem ini menawarkan solusi praktis dan ekonomis untuk pengawasan mutu ikan yang dijual di pasaran.

Kata kunci: Arduino Mega 2560, Formalin, Ikan, Logika fuzzy mamdani, Sensor HCHO, Sensor pH.

I. PENDAHULUAN

Provinsi Kepulauan Riau memiliki posisi geografis yang sangat strategis, membentang dari Selat Malaka hingga Laut China Selatan yang berdekatan dengan Kepulauan Natuna dengan luas wilayah mencapai 251.810 km². Provinsi ini didominasi oleh perairan yakni 96% dari total wilayahnya merupakan lautan, sementara hanya 4% yang berupa daratan [1]. Keunggulan geografis ini tidak hanya menjadikan Kepulauan Riau sebagai gerbang utama bagi aktivitas maritim dan perdagangan, tetapi juga sebagai wilayah yang memiliki

potensi besar untuk pengembangan ekonomi berbasis kelautan serta menghasilkan keragaman ikan yang sangat signifikan [2].

Ikan adalah sumber makanan yang sangat penting bagi manusia karena kaya akan protein, asam lemak omega-3, vitamin D, dan berbagai mikronutrien esensial lainnya [3]. Salah satu jenis ikan laut yang memiliki nilai gizi yang tinggi dan banyak diminati oleh masyarakat adalah ikan kakap, ikan ini terkenal dengan dagingnya yang lezat dan gurih serta kandungan proteinnya yang tinggi.

Untuk menjaga kualitas ikan segar dan mencegah pembusukan, penjual biasanya melakukan pengawetan [4]. Metode pengawetan yang umum digunakan adalah pendinginan dengan memanfaatkan es balok, metode ini berfungsi menjaga suhu ikan dan memperlambat pertumbuhan mikroba yang menyebabkan pembusukan. Namun metode ini memiliki beberapa kekurangan antara lain pendinginan yang tidak merata dan potensi kerusakan fisik pada ikan yang menyebabkan turunnya kualitas ikan. Selain itu, metode ini membutuhkan ruang penyimpanan yang besar, penanganan dan operasional yang cukup rumit, serta kurangnya pasokan es balok.

Hal ini mendorong beberapa oknum penjual melakukan praktik curang menggunakan formalin sebagai bahan pengawet ikan. Formalin adalah senyawa kimia yang berbentuk seperti gas atau cair dengan rumus kimia H₂CO. Formalin merupakan salah satu zat kimia yang dilarang penggunaannya pada makanan sebagai pengawetan [5], karena dapat menyebabkan masalah kesehatan bagi manusia seperti keracunan, gangguan pernafasan, iritasi kulit, dan kanker.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengusulkan alat pendeteksi kandungan formalin pada ikan dan jenis bahan makanan lainnya. Pada penelitian [6] menggunakan satu sensor namun sistem sudah terintegrasi dengan *Internet of Things*

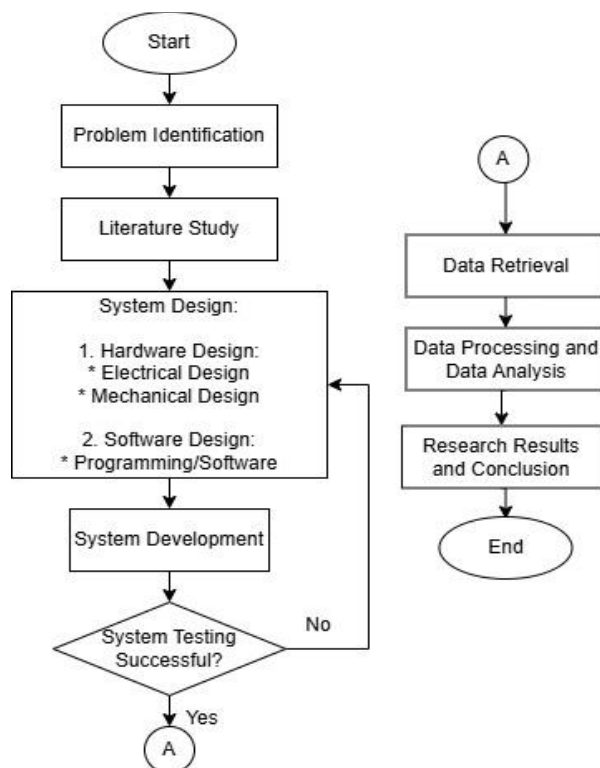
(IoT). Selanjutnya pada penelitian [7] menggunakan metode *K-Nearest Neighbor* dengan tingkat akurasi 90%. Penelitian [8] menghasilkan tingkat akurasi sebesar 92% dengan menggunakan tiga sensor. Kemudian pada penelitian [9] menggunakan metode *image processing* namun rentan terhadap gangguan cahaya, dan pada penelitian [10] menggunakan dua sensor yaitu HCHO dan MQ7 dengan tingkat akurasi 95%.

Berdasarkan permasalahan dan hasil dari penelitian sebelumnya, maka pada penelitian ini dirancang suatu sistem pendeteksi formalin pada ikan menggunakan metode Fuzzy Logic Mamdani yang dapat mengklasifikasikan kadar formalin pada ikan kakap dengan kondisi aman (ikan tidak mengandung formalin), waspada (ikan dengan kadar formalin sedang), dan bahaya (ikan dengan kadar formalin tinggi). Penelitian ini dirancang menggunakan beberapa komponen, seperti sensor HCHO yang berguna untuk mendeteksi gas formalin, sensor pH sebagai pengukur keasaman pada ikan dan kemudian diproses oleh mikrokontroler arduino mega 2560, serta hasil pendeteksian akan ditampilkan pada LCD. LED sebagai indikator klasifikasi tiga kategori kandungan formalin pada ikan, dan buzzer akan mengeluarkan bunyi sesuai kondisi dari ikan yang terdeteksi.

II. METODE

A. Alur Penelitian

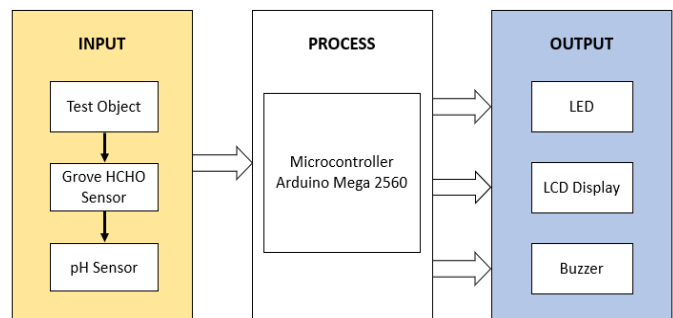
Penelitian ini dilakukan secara bertahap untuk memastikan setiap proses berjalan sistematis dan sesuai tujuan yang telah ditetapkan. Penelitian diawali dengan identifikasi masalah dan studi literatur, kemudian dilakukan perancangan dan pembuatan sistem. Tahap akhir dilakukan pengujian dan analisa sistem. Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan penelitian

B. Blok Diagram Sistem

Diagram blok sistem pendeteksi formalin pada ikan dapat dilihat pada Gambar 2. Sistem dirancang dengan tiga komponen utama, yaitu input, proses, dan output yang saling terintegrasi untuk membentuk suatu sistem yang efektif dan responsif. Pada tahap input, data diperoleh dari objek uji berupa ikan kakap yang diamati menggunakan sensor Grove HCHO untuk mendeteksi kandungan formalin dan sensor pH untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasahan (*Potential of Hydrogen*). Data hasil pembacaan kedua sensor ini selanjutnya dikirim ke mikrokontroler Arduino Mega 2560 yang berperan sebagai pusat pemrosesan. Di dalamnya, algoritma Logika Fuzzy Mamdani dijalankan untuk mengolah dan mengklasifikasikan hasil pengujian ke dalam kategori aman, waspada, dan bahaya.

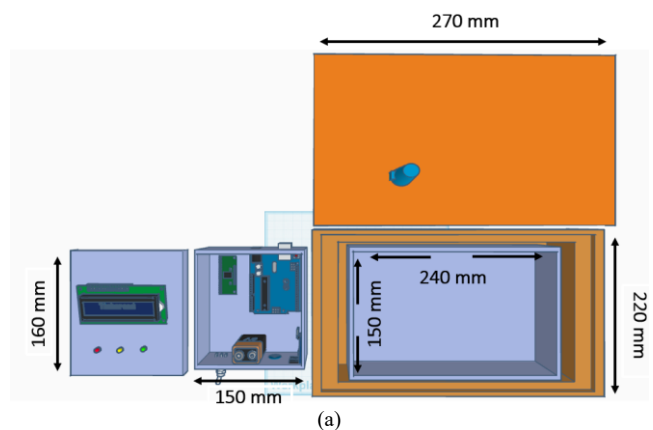


Gambar 2. Blok diagram sistem

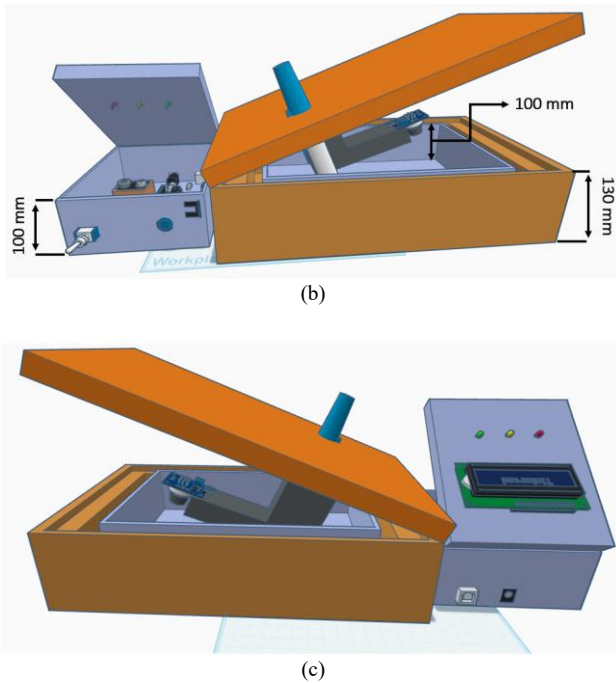
Informasi hasil pengolahan tersebut ditampilkan melalui blok output yang terdiri dari LCD berfungsi menampilkan data secara informatif meliputi kadar kandungan formalin, nilai pH, serta hasil klasifikasi tingkat keamanan ikan. LED digunakan sebagai indikator visual yang akan menyala (ON) sesuai dengan hasil klasifikasi, dan memberikan tanda yang mudah dikenali oleh pengguna. Sementara itu, buzzer berfungsi sebagai alarm suara yang akan berbunyi dengan pola atau nada tertentu berdasarkan tingkat bahaya yang terdeteksi.

C. Perancangan Mekanik

Sistem ini dirancang agar dapat dengan mudah mendeteksi kadar formalin dan pH pada ikan, kemudian mengklasifikasikannya. Sistem ini dirancang agar dapat digunakan secara *portable*, yang memudahkan dalam penggunaan dan pengujiannya. Rancangan mekanik pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.



(a)

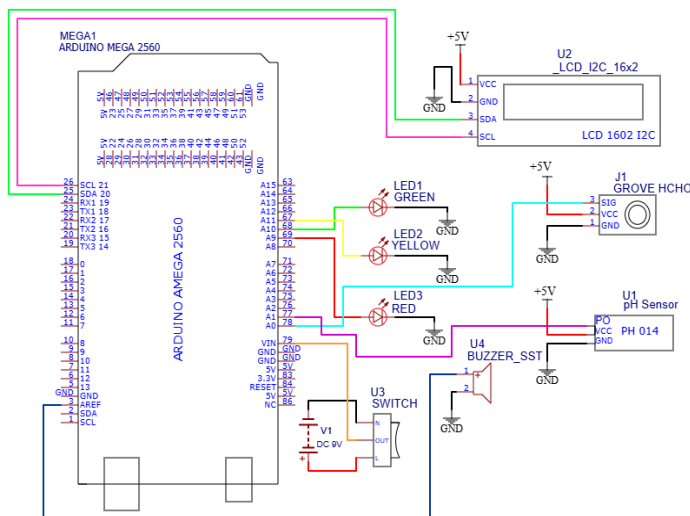


Gambar 3. Rancangan mekanik, (a) Top view (b) Side 1, (c) Side 2

Rancangan mekanik dibuat menggunakan bahan PVC (*Polyvinyl Chloride*) dengan desain 2 box, yang terdiri dari box kontrol dan box pengujian objek. Untuk box kontrol berukuran 150 mm x 160 mm, sedangkan box Pengujian berukuran 270 mm x 220 mm. Kemudian di dalam box objek terdapat wadah uji berukuran 240 mm x 150 mm yang berfungsi sebagai wadah meletakkan objek sampel pengujian.

D. Perancangan Elektrikal

Pada penelitian ini, perancangan elektrikal dilakukan melalui proses integrasi sejumlah komponen elektronik utama yang dirancang secara sinergis untuk membentuk suatu sistem kerja yang utuh. Rangkaian elektrikal pada sistem ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Rancangan elektrikal

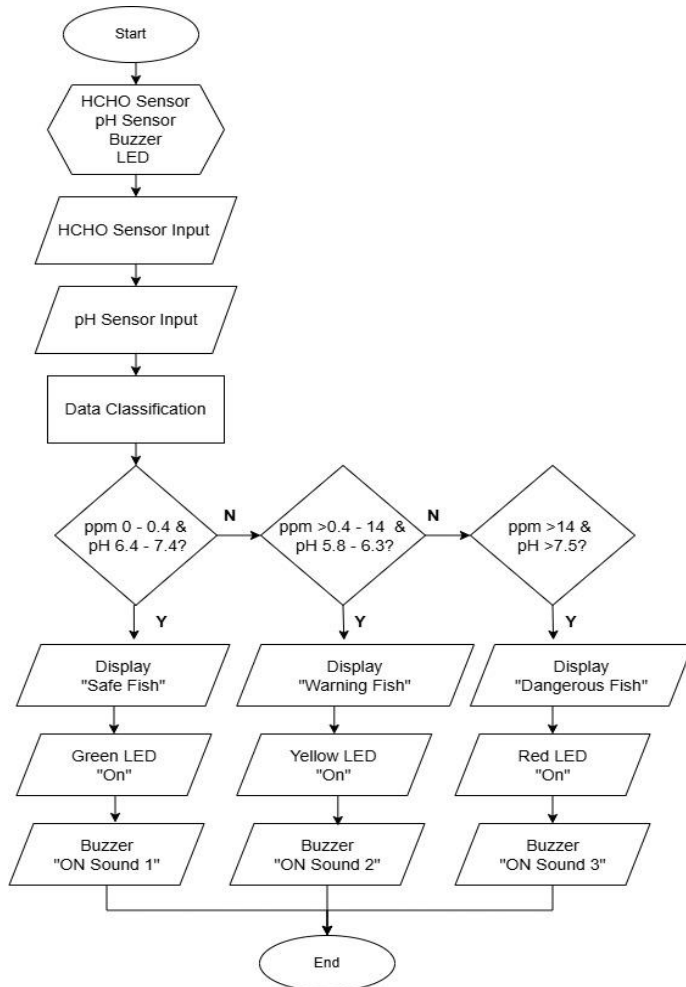
Mikrokontroler Arduino Mega 2560 digunakan sebagai unit pengendali utama (*main controller*) dalam sistem ini. Mikrokontroler berfungsi untuk membaca sinyal analog yang dihasilkan oleh sensor HCHO yang berguna untuk mendeteksi kadar formalin dan sensor pH untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan larutan pada ikan. Sinyal analog yang diterima oleh mikrokontroler akan diolah lebih lanjut dan diklasifikasikan menggunakan algoritma logika fuzzy, sehingga menghasilkan luaran berupa status kondisi ikan yaitu aman, waspada, dan bahaya berdasarkan kombinasi nilai formalin dan pH yang terdeteksi. Untuk sumber dayanya, sistem ini menggunakan baterai 9V sebagai catu daya utama, penggunaan baterai ini memungkinkan alat beroperasi secara *portable*, sehingga memudahkan proses pengujian dan penggunaan langsung di lapangan tanpa bergantung pada sumber listrik eksternal. Desain elektrikal menampilkan susunan rangkaian serta hubungan antar pin sensor dan Arduino Mega 2560. Rincian koneksi antar pin dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL I
KONFIGURASI SETIAP PIN

Pin Sensor HCHO	Pin Arduino Mega 2560
VCC	5V
GND	GND
SIG	A0
Pin Sensor pH	Pin Arduino Mega 2560
VCC	5V
GND	GND
PO	A1
DO	2
TO	A2
Pin LCD I2C	Pin Arduino Mega 2560
VCC	5V
GND	GND
SCL	SCL
SDA	SDA
Pin LED	Pin Arduino Mega 2560
LED Green	10
LED Yellow	11
LED Red	9
Push Buzzer	Pin Arduino Mega 2560
Pin Positif	3
Pin Negative	GND

E. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak pada sistem pendeteksi kadar formalin dan pH pada ikan ini dirancang menggunakan metode Logika Fuzzy Mamdani untuk mengklasifikasikan hasil pengukuran ke dalam tiga kategori yaitu aman, waspada, dan bahaya. Sistem ini beroperasi secara otomatis dengan pengendalian oleh mikrokontroler Arduino Mega 2560 menggunakan bahasa pemrograman C melalui platform Arduino IDE. *Flowchart* sistem atau diagram alir sistem ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram alir sistem

F. Implementasi Algoritma Fuzzy Logic

Klasifikasi tingkat keamanan pada ikan dilakukan menggunakan metode logika fuzzy, dengan menetapkan kadar formalin dan nilai pH sebagai fungsi keanggotaan (*membership function*). Dalam metode ini, rentang nilai dari masing-masing sensor dijadikan sebagai domain fuzzy, yang kemudian diklasifikasikan ke dalam tiga himpunan yaitu aman, waspada, dan bahaya. Seluruh proses dilakukan secara otomatis oleh mikrokontroler yang telah diprogram untuk menangani semua aktivitas input dan output. Nilai sensor yang dibaca, kemudian diproses melalui tahapan fuzzyfikasi, inferensi, dan defuzzifikasi untuk menghasilkan output yang merepresentasikan status dan kondisi keamanan ikan berdasarkan sampel yang terdeteksi.

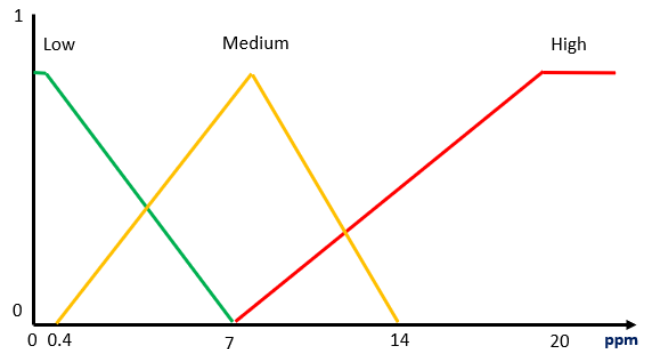
1) Membership Function Formalin

Formalin merupakan senyawa kimia berbahaya yang dapat menimbulkan dampak serius bagi kesehatan manusia. Penggunaannya pada olahan ikan sangat berisiko, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Tingkat bahaya ini bergantung pada dosis dan lamanya paparan dalam tubuh. Jika jumlah formalin yang masuk melebihi ambang batas, dapat terjadi kerusakan pada berbagai organ dan sistem tubuh. Dalam jangka pendek, paparan formalin dapat memicu iritasi pada saluran pernapasan dan pencernaan, disertai gejala seperti mual, muntah, dan pusing. Sementara itu, paparan berkepanjangan

berpotensi menyebabkan kerusakan permanen pada hati, ginjal, jantung, limpa, dan memicu kanker dalam tubuh serta mempercepat proses penuaan [11].

Penentuan kadar formalin dalam bahan pangan dilakukan berdasarkan acuan regulatif dan ilmiah guna mengelompokkan nilai formalin ke dalam tiga himpunan fuzzy. Derajat keanggotaan “Sedikit/Low” ditetapkan dengan merujuk pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 722/Menkes/Per/IX/1988 yang menegaskan bahwa tidak ada toleransi terhadap keberadaan formalin dalam bahan makanan, sehingga nilai keanggotaan berada pada titik nol. Derajat keanggotaan “Sedang/Medium” didasarkan pada informasi dari IPCS, lembaga di bawah WHO, ILO, dan UNEP, yang menetapkan batas asupan harian formalin dalam makanan antara 1,5–14 mg per hari atau maksimal 0,2 mg/liter [12]. Sementara itu, derajat keanggotaan “Banyak/High” ditetapkan pada 20 ppm sesuai ambang batas yang dinyatakan berisiko bagi kesehatan manusia oleh NIOSH, dan digunakan sebagai batas tertinggi dalam model fuzzy yang diterapkan. Ketiga acuan ini dijadikan dasar dalam menyusun fungsi keanggotaan fuzzy untuk mengklasifikasi kadar formalin.

Grafik *Membership function* Formalin dapat dilihat pada Gambar 6, yang mana menjelaskan bahwa pada kategori “sedikit” dengan nilai rentang konsentrasi formalin (0 – 0.4 ppm) menyatakan kadar formalin rendah. Sedangkan, pada kategori “sedang” dengan nilai rentang (0,4–14 ppm) merupakan kadar formalin menengah, namun pada kategori “banyak” dengan nilai konsentrasi (14- 20 ppm) menunjukkan kadar formalin yang tinggi.



Gambar 6. Membership function formalin

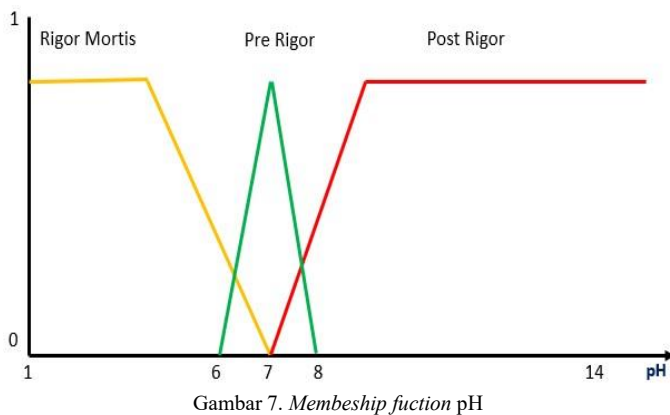
2) Membership Function pH

Tingkat kesegaran ikan dapat diidentifikasi melalui analisis nilai pH, yang berfungsi sebagai indikator fisiologis penting pasca panen atau penangkapan ikan. Perubahan pH pada jaringan ikan mencerminkan fase biokimia yang sedang berlangsung [13]. Tiga fase utama yang menjadi acuan klasifikasi adalah *pre-rigor*, *rigor mortis*, dan *post-rigor*. Fase *pre-rigor* memiliki kisaran pH antara 6,9 hingga 7,2, pada fase *rigor mortis* berada pada rentang 6,2–6,6, dan *post-rigor* pada rentang 7,5–8,0 [14].

Kondisi pH ikan mengalami perubahan bertahap yang mempengaruhi mutu dan kelayakan konsumsi. Fase awal *pre-rigor* mempertahankan pH 6,9–7,2 dengan ciri fisik daging segar, elastis, insang merah cemerlang, bola mata menonjol,

dan kornea jernih, kondisi ini menandakan ikan bermutu tinggi. Transisi menuju *fase rigor mortis* menurunkan pH menjadi 6,2–6,6 melalui akumulasi asam laktat, yang mengakibatkan tekstur ikan kaku, insang sedikit berlendir dan berwarna merah yang kurang cerah, kondisi ini menandakan ikan berkurang kualitasnya tetapi masih aman dikonsumsi. Pada *fase post rigor*, aktivitas proteolitik memicu kenaikan pH hingga 7,5–8,0 disertai dengan pembentukan senyawa basa yang menurunkan mutu organoleptik dan meningkatkan risiko keamanan. Kondisi fisik ikan menuju pembusukan yaitu bola mata cekung, kornea mata buram, insang berwarna keabuan, daging lunak dan meninggalkan bekas permanen jika ditekan dan mengeluarkan bau tidak sedap, sehingga mengkonsumsi ikan pada tahap ini sebaiknya dihindari [15]. Ikan dalam fase *pre rigor* dan *rigor mortis* umumnya masih memiliki mutu yang baik, sedangkan ikan fase *post rigor* cenderung mengalami pembusukan yang memicu terbentuknya senyawa berbahaya seperti histamin. Histamin terbentuk dari asam amino histidin melalui reaksi dekarboksilasi oleh enzim histidin dekarboksilase yang diproduksi oleh mikroorganisme pembusuk. Konsumsi ikan dengan kadar histamin tinggi dapat menyebabkan keracunan scombroid, ditandai dengan gejala seperti wajah memerah, sakit kepala, mual, hingga palpitasi jantung. Apabila tidak ditangani, kondisi ini berpotensi menimbulkan risiko kesehatan kronis [16].

Informasi dari studi sebelumnya dijadikan acuan dalam menyusun fungsi keanggotaan fuzzy pada variabel pH, yang selanjutnya digunakan dalam sistem klasifikasi tingkat kesegaran ikan dalam penelitian ini. Gambar 7 merupakan grafik *membership Function* pH dengan tiga himpunan fuzzy yaitu *rigor mortis*, *pre rigor*, dan *post rigor* dengan rentang nilai pH adalah dari 0 hingga 14.



Gambar 7. *Membership function* pH

Gambar 7 menunjukkan bahwa pada garis kuning dalam fase *rigor mortis* dengan nilai rentang pH (5,8 - 6,3) kondisi fisik ikan kaku dan mengalami penurunan kesegaran ikan. Sedangkan garis hijau dengan fase *pre rigor* dengan nilai rentang pH (6,4 - 7,4) menunjukkan kondisi fisik ikan masih segar. Namun garis merah dalam fase *post rigor* dengan nilai

rentang pH sekitar (7,5 - 14) menandakan ikan memulainya membusuk dan bau aroma yang tidak enak.

3) *Fuzzy Rule Base*

Dalam sistem logika fuzzy, basis aturan (*rule base*) berperan sebagai inti pengambilan keputusan. Aturan-aturan ini ditulis dalam bentuk "jika-maka" (*IF-THEN*) dan dirancang untuk menghubungkan kombinasi nilai input dari sensor dengan hasil output yang diinginkan [17]. Aturan fuzzy dibuat berdasarkan nilai pembacaan sensor HCHO (kadar formalin) dan sensor pH, yang kemudian diklasifikasikan ke dalam kategori aman, waspada, atau bahaya. *Fuzzy Rule Base* dapat dilihat pada Tabel II.

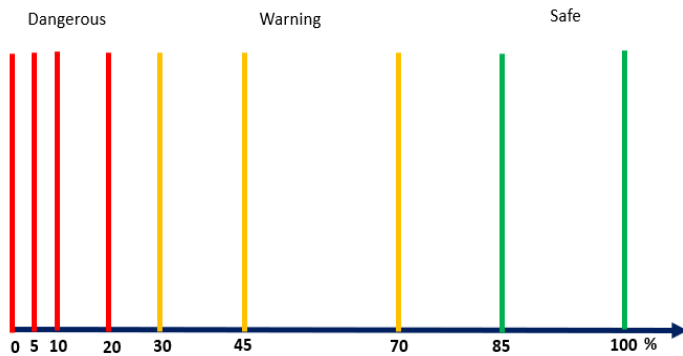
TABEL II
FUZZY RULE BASE

Fuzzy Rule Base		pH (x)		
		Rigor Mortis	Pre Rigor	Post Rigor
Formalin (y)	Sedikit	Aman	Aman	Bahaya
	Sedang	Waspada	Waspada	Bahaya
	Banyak	Bahaya	Bahaya	Bahaya

Berdasarkan Tabel II, penentuan tingkat keamanan konsumsi ikan dilakukan melalui kombinasi parameter kadar formalin (y) dan kondisi pH yang merepresentasikan fase fisiologis ikan (x). Kondisi aman umumnya berada pada kadar formalin sangat rendah atau mendekati nol ppm, dengan nilai pH masih dalam kisaran netral, sehingga risiko terhadap kesehatan dapat dikatakan minimal atau layak konsumsi. Pada kondisi waspada, kadar formalin mulai meningkat dan pH cenderung mengalami perubahan menuju batas yang tidak normal, menandakan adanya potensi bahaya yang lebih tinggi. Jika dibiarkan, kondisi ini dapat menimbulkan gangguan kesehatan seperti iritasi, sakit kepala, mual, hingga kerusakan organ dalam jangka panjang. Sementara itu, kondisi bahaya menunjukkan kadar formalin tinggi dengan pH yang sudah jauh dari normal, yang berpotensi menimbulkan risiko kronis seperti gangguan pernapasan, kerusakan hati dan ginjal, bahkan risiko kanker apabila paparan berlangsung terus-menerus. Oleh karena itu, klasifikasi ini penting sebagai panduan deteksi dini, sehingga tindakan pencegahan dapat segera dilakukan sebelum dampak kesehatan yang serius terjadi.

4) *Defuzzifikasi*

Pada tahap defuzzifikasi, sistem mengubah hasil fuzzy menjadi nilai numerik yang tegas. Metode yang digunakan umumnya adalah dengan mencari titik tengah (*centroid*) dari area kurva keanggotaan output yang aktif. Nilai ini menjadi representasi akhir dari hasil proses fuzzy yang akan digunakan untuk pengambilan keputusan sistem [18]. Indikator *output* fuzzy dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Indikator output Fuzzy

Indikator kategori hasil defuzzifikasi dari Gambar 8 menjelaskan bahwa pada sumbu horizontal menyatakan tingkat keamanan terhadap kandungan formalin, sedangkan garis vertikal merupakan batas kategori yaitu bahaya (0-20%) ditandai dengan garis warna merah menunjukkan kadar formalin yang terdeteksi tidak aman untuk dikonsumsi. Untuk kategori waspada (20-70%) ditandai dengan garis kuning menunjukkan bahwa kadar formalin berada pada tingkat menengah yang masih berpotensi membahayakan jika dikonsumsi, sedangkan pada kategori aman (70-100%) ditandai dengan garis hijau menunjukkan kadar formalin tidak terdeteksi dan aman untuk dikonsumsi.

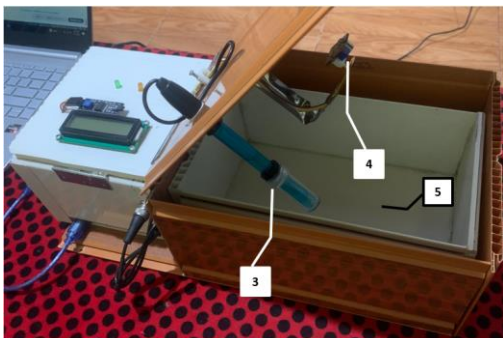
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pembuatan Sistem Pendeteksi Formalin Pada Ikan

Alat ini dirancang untuk dapat mendeteksi formalin pada ikan secara cepat dan akurat serta dapat digunakan secara *portable*. Hasil pembuatan alat pendeteksi formalin beserta keterangannya dapat dilihat pada Gambar 9.



(a)



(b)



(c)

Gambar 9. Alat pendeteksi formalin (a) Tampak atas, (b) Tampak depan, (c) Tampak belakang

Keterangan gambar:

1. LCD
2. LED
3. Sensor pH
4. Sensor HCHO
5. Box Sample
6. Swich Button
7. Buzzer

B. Pengujian Sensor

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan sensor pH sebagai alat ukur derajat keasaman dan sensor Grove HCHO untuk mengukur kadar formalin pada ikan kakap. Sebelum dilakukan pengukuran, kedua sensor terlebih dahulu dikalibrasi guna memastikan bahwa alat bekerja dalam kondisi optimal dan memberikan hasil yang akurat. Pengukuran kadar pH dilakukan dengan cara menimbang 10gram sampel ikan kakap, kemudian dihomogenkan dengan 10 ml aquadest. Setelah larutan homogen, elektroda pH meter dimasukkan ke dalam larutan tersebut dan dibiarkan selama kurang lebih 1–2 menit hingga nilai pH yang ditampilkan stabil atau tidak mengalami perubahan [19]. Sementara itu, pengukuran kadar formalin menggunakan sensor Grove HCHO dilakukan dengan cara menempatkan sampel ikan ke dalam ruang uji tertutup (*box* pengujian). Sampel didiamkan di ruang pengujian agar gas formaldehida dapat terakumulasi secara maksimal dalam ruang tertutup, sehingga sensor dapat mendeteksi konsentrasi gas secara optimal dan stabil. Pengujian dilakukan pada lima sampel ikan kakap yang telah dicampur formalin 15% dan dilakukan pengujian pada rentang waktu 1 menit, 5 menit, 10 menit, 30 menit, dan 60 menit. Masing-masing sampel diuji, kemudian dilakukan pengulangan sebanyak lima kali untuk memastikan konsistensi dan akurasi data. Dari pengujian tersebut, diperoleh total 15 data hasil pengukuran yang kemudian dianalisis untuk menilai tingkat keakuratan dan kestabilan pembacaan dari kedua sensor.

1) Pengujian Sensor HCHO

Pada pengujian sensor HCHO, dilakukan kalibrasi untuk memperoleh nilai dari pembacaan sensor, menghitung resistansi sensor saat pengukuran dengan rumus sebagai berikut:

$$R_s = \frac{V_{ref}}{V_{out}} - 1 \cdot R_L \quad (1)$$

Dalam program:

$$R_s = \frac{1023}{ADC} - 1 \cdot R_o \quad (2)$$

Keterangan rumus:

- R_s : Resistansi saat pengukuran
- R_o : Resistansi saat udara bersih
- ADC : Nilai analog read
- V_{ref} : Tegangan (V)
- R_L : Resistor beban

Sensor menghasilkan sinyal analog yang dikonversikan menjadi nilai resistansi R_s . Setelah itu, dibandingkan dengan resistansi R_o yang diambil pada kondisi udara bersih 0 ppm. Berdasarkan hubungan logaritmik antara $\log_{10}(R_s/R_o)$ dan $\log_{10}(\text{ppm})$, dengan persamaan regresi sebagai berikut.

$$Ppm = 10^{\frac{\log_{10} .R_s/R_o - a}{b}} \tag{3}$$

Keterangan rumus:

- Ppm : Nilai konsentrasi
- R_s : Resistansi saat pengukuran
- R_o : Resistansi saat udara bersih
- a : Nilai intersep
- b : Hasil dari regresi linear

Setelah dilakukan kalibrasi, selanjutnya dilakukan pengujian sensor HCHO dengan menggunakan sampel ikan yang telah dicampur dengan formalin sebanyak 100 ml dengan konsentrasi 15% pada variasi waktu pencampuran yaitu 1 menit, 5 menit, 10 menit, 30 menit, dan 60 menit.

TABEL III
PENGUJIAN SENSOR HCHO

No	Berat (Gram)	Waktu	Nilai Ppm	Klasifikasi Formalin
1.	0.72	1 menit	2.52	Sedang
2	0,185	5 menit	4.30	Sedang
3	0,80	10 menit	10.09	Sedang
4	0.67	30 menit	12.14	Sedang
5	0.76	60 menit	19.31	Banyak

Tabel III menunjukkan hasil pengujian sensor HCHO dengan variasi lama waktu perendaman ikan dalam larutan formalin pada kondisi tertutup. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa ikan yang didiamkan selama 1 menit memiliki kadar formalin sebesar 2.52 ppm, sehingga dikategorikan “sedang”. Sedangkan ikan yang didiamkan selama 60 menit menunjukkan kadar formalin 19,31 ppm dan dikategorikan “banyak”. Pola peningkatan kadar formalin seiring bertambahnya waktu perendaman ini sejalan dengan temuan pada penelitian [6], yang juga menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak dengan larutan formalin, semakin tinggi kadar formalin yang terdeteksi. Dengan demikian, data yang diperoleh pada pengujian ini dapat dinyatakan valid dan konsisten dengan hasil penelitian terdahulu, sehingga dapat dijadikan dasar dalam penentuan kategori formalin pada ikan.

2) Pengujian Sensor pH

Pengujian sensor pH dilakukan melalui tahap kalibrasi agar diperoleh hasil pengukuran yang akurat dan sesuai dengan standar pH. Metode regresi linier merupakan teknik analisis statistik yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara satu variabel bebas (independen) dan satu variabel terikat (dependen) dengan

menggunakan persamaan garis lurus [20]. Rumus yang digunakan dalam proses kalibrasi sensor pH sebagai berikut:

$$pH = mV + C \tag{4}$$

Keterangan rumus:

- pH : nilai pH yang diukur dari larutan
- m : kemiringan garis kalibrasi
- V : tegangan keluaran sensor pH yang diukur dari larutan
- C : nilai dari pergeseran garis kalibrasi

Proses kalibrasi sensor pH dilakukan dengan menggunakan dua titik larutan buffer standar yaitu pH 4.01, pH 6.86, dan pH 9.18 untuk memastikan akurasi pembacaan sensor dalam rentang pH yang berbeda. Pengujian dilakukan pada ke tiga larutan buffer dan dilakukan pengulangan sebanyak lima kali untuk menguji akurasi pembacaan sensor, serta menentukan respon sensor terhadap kondisi pH yang berbeda.

TABEL IV
KALIBRASI SENSOR pH

No	Larutan Buffer	Nilai Ph	Tegangan Sensor	Nilai ADC
1.	Asam	3.90	4.02 V	822
		3.92	4.02 V	822
		3.94	4.02 V	822
		3.99	4.02 V	822
		4.01	4.02 V	822
2.	Netral	6.73	3.62 V	740
		6.78	3.62 V	740
		6.80	3.62 V	740
		6.84	3.62 V	740
		7.00	3.63 V	740
3.	Basa	9.05	3.32 V	678
		9.10	3.32 V	678
		9.15	3.32 V	678
		9.16	3.32 V	678
		9.18	3.32 V	678

Berdasarkan pada Tabel IV, kalibrasi sensor pH dapat disertakan bahwa larutan asam dengan nilai pH (3,90 – 4,01) menghasilkan nilai ADC sebesar 822 dengan tegangan keluaran sensor sekitar 4,02V. Sedangkan, larutan netral dengan nilai pH (6,73 - 7,00) menunjukkan nilai ADC sekitar 740 dengan tegangan keluaran sensor sekitar 3,62V. Namun, pada larutan basa dengan nilai pH (9,5 – 9,18) menghasilkan nilai ADC sekitar 678 dengan keluaran tegangan 3,32V. Pembacaan nilai ADC terhadap nilai aktual diperoleh persamaan kalibrasi sensor pH sebagai berikut:

$$pH = - 0.03594 . ADC + 33.81 \tag{5}$$

Rumus yang digunakan dalam mengonversi nilai ADC menjadi pH aktual agar mendapatkan nilai ADC dari pH aktual, maka dilakukan inversi dari persamaan sebagai berikut:

$$ADC = \frac{33.81 - pH}{0.03594} \tag{6}$$

C. Pengujian Sistem dengan Sample Ikan Kakap

Pengujian sistem dilakukan terhadap enam sampel ikan kakap, yaitu satu ikan kakap tanpa formalin diuji selama 10 menit dan dilakukan pengulangan sebanyak 10 kali. Kemudian pengujian pada 5 sample ikan kakap yang telah dicampur dengan formalin sebanyak 100 ml dengan konsentrasi 15% pada variasi waktu pencampuran yaitu 1 menit, 5 menit, 10 menit, 30

menit, dan 60 menit, Kemudian dilakukan pengulangan sebanyak 10 kali. Hasil pengujian sistem dapat dilihat pada Tabel V.

TABEL V
PENGUJIAN SAMPLE IKAN KAKAP

No	Berat (Gram)	Penggunaan Formalin	Nilai Ppm	Nilai pH	Kondisi	Persentase
1	0,94 gr	Tanpa Formalin (10 menit)	0	6.14	Aman	74 %
			0	6.14	Aman	74 %
			0	6.14	Aman	74 %
			0	6.14	Aman	74 %
			0	6.14	Aman	74 %
			0	6.14	Aman	74 %
			0	6.14	Aman	74 %
			0	6.14	Aman	74 %
			0	6.14	Aman	74 %
			0	6.14	Aman	74 %
2	0,107 gr	1 menit	2.54	6.14	Waspada	45 %
			2.58	6.14	Waspada	45 %
			2.54	6.14	Waspada	45 %
			2.54	6.14	Waspada	45 %
			2.54	6.14	Waspada	45 %
			2.54	6.14	Waspada	45 %
			2.54	6.14	Waspada	45 %
			2.54	6.14	Waspada	45 %
			2.54	6.14	Waspada	45 %
			2.54	6.14	Waspada	45 %
3	0,94 gr	5 menit	4.84	6.50	Waspada	45 %
			4.90	6.50	Waspada	45 %
			4.84	6.50	Waspada	45 %
			4.84	6.50	Waspada	45 %
			4.84	6.50	Waspada	45 %
			4.84	6.50	Waspada	45 %
			4.84	6.50	Waspada	45 %
			4.84	6.50	Waspada	45 %
			4.84	6.50	Waspada	45 %
			4.84	6.50	Waspada	45 %
4	0,62 gr	10 menit	10.13	6.75	Waspada	40 %
			10.18	6.75	Waspada	40 %
			10.13	6.75	Waspada	40 %
			10.13	6.75	Waspada	40 %
			10.13	6.75	Waspada	40 %
			10.13	6.75	Waspada	40 %
			10.13	6.75	Waspada	40 %
			10.13	6.75	Waspada	40 %
			10.13	6.75	Waspada	40 %
			10.13	6.75	Waspada	40 %
5	0,51 gr	30 menit	12.42	6.64	Waspada	40 %
			12.50	6.64	Waspada	40 %
			12.42	6.64	Waspada	40 %
			12.43	6.64	Waspada	40 %
			12.42	6.64	Waspada	40 %
			12.42	6.64	Waspada	40 %
			12.43	6.64	Waspada	40 %
			12.42	6.64	Waspada	40 %
			12.42	6.64	Waspada	40 %
			12.42	6.64	Waspada	40 %
6	0,72 gr	60 menit	19.29	5.42	Bahaya	3 %
			19.36	5.42	Bahaya	3 %
			19.29	5.42	Bahaya	3 %
			19.29	5.42	Bahaya	3 %
			19.29	5.42	Bahaya	3 %
			19.29	5.42	Bahaya	3 %
			19.29	5.42	Bahaya	3 %
			19.29	5.42	Bahaya	3 %
			19.29	5.42	Bahaya	3 %
			19.29	5.42	Bahaya	3 %

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai konsentrasi formalin (ppm) cenderung meningkat seiring bertambahnya massa formalin dan lamanya waktu pemaparan pada ikan, sementara nilai pH

mengalami penurunan seiring meningkatnya keasaman larutan. Perubahan ini mencerminkan adanya degradasi kesegaran dan modifikasi fisiologis jaringan ikan akibat reaksi kimia antara formalin dan komponen protein. Berdasarkan pengujian enam sampel ikan kakap yang terdiri dari satu sampel tanpa formalin dan lima sampel dengan variasi waktu pencampuran formalin (1, 5, 10, 30, dan 60 menit), terlihat pola bahwa semakin lama durasi pencampuran, kadar formalin meningkat dari 0 ppm hingga ±19 ppm, disertai perubahan pH dari fase *pre rigor* menuju *rigor mortis*. Implementasi sistem *fuzzy rule base* yang digunakan berhasil mengklasifikasikan tingkat keamanan ikan menjadi tiga kategori yaitu aman, waspada, dan bahaya sesuai kombinasi parameter kadar formalin dan pH. Hasil klasifikasi ini juga memberikan gambaran risiko kesehatan yang mungkin timbul, mulai dari potensi iritasi dan gangguan ringan pada kategori waspada, hingga risiko serius seperti kerusakan organ dan kanker pada kategori bahaya. Dengan demikian, alat yang dikembangkan terbukti mampu melakukan deteksi dini terhadap tingkat keamanan ikan secara efektif, memungkinkan untuk segera mengidentifikasi adanya indikasi bahaya konsumsi ikan dan mengambil langkah pencegahan sebelum timbul dampak kesehatan yang lebih berat. Setelah itu, pada nilai tingkat akhir keamanan menggunakan metode defuzzifikasi centroid dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Keamanan} = \frac{\sum \alpha_i \cdot z_i}{\sum \alpha_i} \tag{7}$$

Berdasarkan keterangan dari rumus, keamanan adalah α_i merupakan derajat keanggotaan yang diperoleh dari hasil minimum antara fungsi keanggotaan ppm dan pH untuk aturan logika fuzzy yang digunakan. Sementara z_i merupakan nilai representatif keamanan yang diklasifikasikan menjadi kategori aman, waspada, dan bahaya. Tabel VI merupakan tingkat keakuratan pengujian sampel ikan kakap yang sudah dilakukan.

TABEL VI
KEAKURATAN PENGUJIAN SAMPLE IKAN KAKAP

Berat	Penggunaan Formalin	Error	Akurasi
0,94 Gram	Tanpa formalin	16 %	84 %
0,107 Gram	1 menit	5 %	95 %
0,94 Gram	5 menit	5 %	95 %
0,62 Gram	10 menit	10 %	90 %
0,51 Gram	30 menit	10 %	90 %
0,72 Gram	60 menit	7 %	93 %
Rata – rata		91.17 %	

Berdasarkan Tabel VI, maka perhitungan rata-rata diperoleh sebagai berikut:

$$\text{Rata- rata error} = \frac{160+50+50+100+100+70}{60} = \frac{530}{60} = 8.83 \%$$

$$\text{Rata-rata akurasi} = \frac{840+950+950+900+900+930}{60} = \frac{5470}{60} = 91.17 \%$$

Berdasarkan hasil dari pengujian ikan kakap dengan menggunakan metode Fuzzy Logic mamdani dari dedifuzzifikasi terhadap nilai target kategori keamanan, diperoleh tingkat akurasi rata-rata 91.17 %.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa sensor HCHO mendeteksi formalin dengan nilai 0 – 0.4 ppm dan sensor pH 6.4 – 7.4 menunjukkan kondisi “aman” dengan indikator lampu LED hijau serta buzzer berbunyi *Sound 1*. Ketika sensor HCHO mendeteksi formalin dengan nilai 0.5 – 14 ppm dan sensor pH 5.8 – 6.3 menunjukkan kondisi “waspada” dengan indikator LED kuning serta buzzer berbunyi *Sound 2*. Kemudian ketika sensor HCHO mendeteksi formalin dengan nilai > 14 ppm dan sensor pH > 7.5 menunjukkan kondisi “bahaya” dengan indikator LED merah serta buzzer berbunyi *Sound 3*. Berdasarkan pengujian yang dilakukan pada sampel ikan dapat dibuktikan bahwa sistem berfungsi dengan tingkat keakuratan 91,17%. Sistem ini mampu mendeteksi kandungan formalin serta mengukur tingkat keasaman (pH) secara efektif. Untuk pengembangan lebih lanjut, sistem ini dapat ditingkatkan dengan integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) yang memungkinkan pemantauan hasil sampel secara *real-time* melalui aplikasi seluler dan *website*, sehingga memudahkan pengguna dalam mengakses data dan memantau kualitas ikan dengan lebih efisien.

REFERENCES

- [1] S. Rahayu and J. J. Junior, “Optimalisasi Kebijakan dalam Pengelolaan Kawasan Perbatasan (Studi Kasus: Kota Batam , Provinsi Kepulauan Riau),” *J. Ilmu Adm. Negara*, vol. 9, no. 2, pp. 64–78, 2021.
- [2] M. Alfarizi, “Sustainable Blue Economy of the Riau Islands: Challenges, Opportunities, and Strategic Steps Based on the Penta Helix,” *J. Archipel.*, vol. 03, no. 1, pp. 1–15, 2024.
- [3] A. A. Rahma, R. S. Nurlaela, A. Meilani, Z. P. Saryono, and A. D. Pajrin, “Ikan Sebagai Sumber Protein dan Gizi Berkualitas Tinggi Bagi Kesehatan Tubuh Manusia,” *Karimah Tauhid*, vol. 3, no. 3, pp. 3132–3142, 2024.
- [4] A. Ayuni, M. Maswadi, A. Suharyani, M. Aritonang, and W. Fitrianti, “Strategi Peningkatan Mutu Produk Olahan Ikan Tangkap di Kecamatan Sungai Kakap,” *JIA (Jurnal Ilm. Agribisnis) J. Agribisnis dan Ilmu Sos. Ekon. Pertan.*, vol. 9, no. 4, pp. 305–316, 2024.
- [5] A. Berliana, J. Abidin, N. Salsabila, N. S. Maulidia, R. Adiyaksa, and V. F. Siahaan, “Penggunaan Bahan Tambahan Makanan Berbahaya Boraks dan Formalin Dalam Makanan Jajanan,” *J. Sanitasi Lingkungan*, vol. 1, no. 2, pp. 64–71, 2021.
- [6] W. O. Lisnawati, H. T. Mokui, and L. M. B. Aksara, “Ikan Menggunakan Grove Hcho,” vol. 1, no. 2, pp. 80–86, 2023.
- [7] D. Siswanto, D. Syaury, and A. S. Budi, “Sistem Klasifikasi Ikan Tongkol yang Mengandung Formalin dengan Sensor HCHO dan Sensor pH Menggunakan Metode K-Nearest Neighbor Berbasis Arduino,” *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 3, no. 10, pp. 9993–9997, 2019.
- [8] Y. Rosmawati and M. Taufiqurrohman, “Rancang Bangun Alat Deteksi Formalin Pada Ikan Pindang Menggunakan Metode Fuzzy Logic,” *J. Borneo Inform. dan Tek. Komput.*, vol. 2, no. 2, pp. 23–31, 2022.
- [9] S. A. Azis, “Implementasi Teknologi Image Processing Untuk Identifikasi Kandungan Formalin Dan Tahun 2023,” 2023.
- [10] Cyntiya Laxmi Haura, Indri Yanti, and Muh Pauzan, “Alat Pendeteksi Formalin Menggunakan Deret Sensor HCHO dan MQ-7 dengan Logika Fuzzy,” *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 12, no. 2, pp. 117–123, 2023.
- [11] R. Kusumaningsih, “Sosialisasi Mengenai Bahaya Formalin Terhadap Olahan Ikan di Desa Carenang Kabupaten Serang Provinsi Banten,” *J. Abdi Masy. Indones.*, vol. 3, no. 5, pp. 1431–1438, 2023.
- [12] L. Setyowati, E. Purwanto, and N. A. Ningtyas, “A Quantitative Test between Formalin Fresh and Boiled Fish at the Fish Market in Tulungagung,” *J. Keperawatan*, vol. 11, no. 1, pp. 45–50, 2020.
- [13] J. Periklanan and K. Volume, “Diterima : 17 Juli 2023 / Disetujui : 1 Agustus 2024,” vol. 14, pp. 65–74, 2024.
- [14] E. Suprayitno, “Kajian Kesegaran Ikan Di Pasar Tradisional Dan Modern Kota Malang,” *JFMR-Journal Fish. Mar. Res.*, vol. 4, no. 2, pp. 289–295, 2020.
- [15] E. Liviawaty, D. E. Afrianto, F. Periklanan, and I. Kelautan, “Penentuan Waktu Rigor Mortis Ikan Nila Merah (*Oreochromis Niloticus*) Berdasarkan Pola Perubahan Derajat Keasaman,” *J. Akuatika*, vol. Vol 5, no. 1, pp. 40–44, 2014.
- [16] A. Asni, K. Kasmawati, E. Ernaningsih, and M. Tajuddin, “Analisis Penanganan Hasil Tangkapan Nelayan Yang Didaratkan Di Tempat Pendaratan Ikan Beba Kabupaten Takalar,” *J. Indones. Trop. Fish. J. Akuakultur, Teknol. Dan Manaj. Perikan. Tangkap, Ilmu Kelaut.*, vol. 5, no. 1, pp. 40–50, 2022.
- [17] A. S. K. R. Nasution, Gunadi Widi Nurcahyo, and Agung Ramadhanu, “Penerapan Metode Fuzzy Mamdani untuk Mengidentifikasi Kepribadian Siswa,” *J. KomtekInfo*, vol. 11, pp. 157–162, 2024.
- [18] A. Burhanuddin, “Analisis Komparatif Inferensi Fuzzy Tsukamoto, Mamdani dan Sugeno Terhadap Produktivitas Padi di Indonesia,” *LEDGER J. Inform. Inf. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 48–57, 2023.
- [19] M. F. N. Al Faticih, A. I. Setyastuti, D. Kresnasari, and S. Sarmin, “Identifikasi Tingkat Kesegaran Ikan Tongkol (*Euthynnus sp.*) Di Pasar Bumiayu, Kabupaten Brebes,” *J. Mar. Res.*, vol. 12, no. 3, pp. 511–518, 2023.
- [20] N. M. Farhan and B. Setiaji, “Indonesian Journal of Computer Science,” *Indones. J. Comput. Sci.*, vol. 12, no. 2, pp. 284–301, 2023.