



Analisis Kandungan Formalin pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) yang Dijual di Pasar Tradisional Kota Gorontalo

Sri Gita Tamai^{1*}, Tusaban², Dewi Shinta Achmad³, Nur Jihan Fareranty Piu⁴

¹⁻⁴Program Studi Akuakultur, Fakultas Sains dan Ilmu Komputer, Universitas Muhammadiyah Gorontalo, Indonesia

*Penulis Korespondensi: tusaban@umgo.ac.id

Abstract. Food safety of fresh fish is an important concern because fish is highly perishable and may be misused with hazardous preservatives such as formalin. This study aimed to determine formalin content and analyze the relationship between length and weight of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and formalin levels in traditional markets of Gorontalo City. The study was conducted from January to February 2026 in five traditional markets, namely TPI Tenda, Moodu, Potanga, Andalas, and Sentral. Nile tilapia samples were analyzed using a formaldehyde test kit, and formalin levels were expressed in ppm. Total length and fish weight were measured, and the relationship between physical size and formalin content was analyzed using Pearson correlation. The results showed that all Nile tilapia samples tested positive for formalin, with concentrations ranging from 0.11 to 0.23 ppm. The highest formalin levels were found in TPI Tenda and Moodu, each at 0.23 ppm, while the lowest level was found in Sentral at 0.11 ppm. Fish length ranged from 19.43 to 25.61 cm, while fish weight ranged from 0.17 to 1.78 g. The correlations between length and formalin content and between weight and formalin content were both very strongly negative, with $r = -0.97$. These findings indicate that smaller fish tended to contain higher formalin levels. Market supervision, trader education, and formalin-free fish handling practices should be strengthened to protect consumer health.

Keywords: Food Safety; Formalin; Nile Tilapia; Pearson Correlation; Traditional Market.

Abstrak. Keamanan pangan ikan segar menjadi perhatian penting karena ikan mudah mengalami pembusukan dan berpotensi disalahgunakan dengan bahan pengawet berbahaya seperti formalin. Penelitian ini bertujuan mengetahui kandungan formalin serta hubungan panjang dan berat ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dengan kadar formalin pada pasar tradisional Kota Gorontalo. Penelitian dilakukan pada Januari–Februari 2026 di lima pasar tradisional, yaitu TPI Tenda, Moodu, Potanga, Andalas, dan Sentral. Sampel ikan nila dianalisis menggunakan formaldehyde test kit dan pengukuran kadar formalin dinyatakan dalam ppm. Panjang total dan berat ikan diukur, kemudian hubungan antara ukuran fisik dan formalin dianalisis menggunakan korelasi Pearson. Hasil menunjukkan seluruh sampel ikan nila terdeteksi mengandung formalin dengan kadar 0,11–0,23 ppm. Kadar tertinggi terdapat pada TPI Tenda dan Moodu masing-masing 0,23 ppm, sedangkan kadar terendah terdapat pada Sentral sebesar 0,11 ppm. Panjang ikan berkisar 19,43–25,61 cm, sedangkan berat berkisar 0,17–1,78 gram. Korelasi panjang dan berat terhadap formalin sama-sama bernilai negatif sangat kuat, yaitu $r = -0,97$. Temuan ini menunjukkan bahwa ikan berukuran lebih kecil cenderung memiliki kadar formalin lebih tinggi. Pengawasan pasar, edukasi pedagang, dan penerapan penanganan ikan tanpa formalin perlu diperkuat untuk melindungi kesehatan konsumen.

Kata kunci: Formalin; Ikan Nila; Keamanan Pangan; Korelasi Pearson; Pasar Tradisional.

1. LATAR BELAKANG

Perikanan Keamanan pangan merupakan komponen mendasar dalam perlindungan kesehatan masyarakat, terutama pada komoditas pangan segar yang memiliki tingkat kerusakan tinggi selama proses distribusi dan pemasaran. Salah satu masalah yang masih menjadi perhatian di banyak pasar tradisional adalah penyalahgunaan bahan kimia berbahaya, termasuk formalin atau larutan formaldehida, sebagai bahan pengawet ilegal. Formalin secara fungsional digunakan dalam sektor industri, laboratorium, pengawetan spesimen biologis, dan disinfeksi, tetapi tidak diperuntukkan sebagai bahan tambahan pangan. Dalam konteks pangan,

formaldehida sering disalahgunakan karena sifat antiseptik dan pengawetnya yang mampu memperlambat pembusukan serta mempertahankan tampilan produk agar tetap segar (Rahman et al., 2023). Di Indonesia, formalin 37% masih dilaporkan ditemukan secara ilegal pada beberapa bahan pangan untuk memperpanjang umur simpan, meskipun konsumsi pangan yang mengandung formaldehida dapat berdampak buruk bagi kesehatan dan berpotensi menyebabkan kanker (Putri et al., 2024). Kontaminasi makanan oleh bahan aditif berbahaya, termasuk pengawet ilegal, telah dinyatakan sebagai ancaman serius bagi kesehatan masyarakat (Rovita dan Wulandari, 2022). Masalah ini menjadi lebih penting karena pangan yang sering dipasarkan di pasar tradisional, seperti ikan segar, ikan asin, tahu, dan mie basah, merupakan produk yang sangat dekat dengan konsumsi harian masyarakat.

Ikan merupakan sumber protein hewani bermutu tinggi yang menyediakan asam lemak omega-3 dan omega-6, vitamin B dan D, serta mineral penting, tetapi sifat biologisnya membuat komoditas ini sangat mudah mengalami kerusakan setelah panen (Jinadasa et al., 2022). Produk seafood juga dikenal kaya protein, lemak sehat, mineral, dan vitamin D, namun sangat mudah membusuk sehingga beberapa bahan kimia, termasuk formaldehida, pernah digunakan untuk mempertahankan mutu dan memperpanjang umur simpan (Mehta et al., 2024). Deteriorasi mutu ikan setelah panen terutama dipicu oleh oksidasi lipid, dekomposisi protein akibat aktivitas enzim endogen, dan kontaminasi mikroba; kondisi ini diperkuat oleh kadar air tinggi, pH mendekati netral, kebutuhan suplai darah teroksidasi, serta keberadaan mikrobiota residen yang mempercepat pembusukan selama penyimpanan (Nie et al., 2022). Pada produk pangan akuatik, pembusukan mikroba merupakan bentuk kerusakan umum, dengan genus penting seperti *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Enterobacter*, *Bacillus*, *Listeria*, *Shewanella*, serta kapang *Aspergillus* dan *Penicillium* (Tahiluddin et al., 2022). Ikan nila (*Oreochromis niloticus*) merupakan salah satu komoditas akuakultur penting yang berperan dalam ketahanan pangan, pendapatan rumah tangga, lapangan kerja, dan pasokan protein murah (Antonio-Estrada et al., 2024). Secara global, pertumbuhan akuakultur juga memperkuat rantai produksi ikan nila, yang kini disebut sebagai spesies budidaya ketiga paling banyak dibudidayakan di dunia (Meurer et al., 2025). Di Kota Gorontalo, ikan nila menjadi salah satu jenis ikan yang sering diperjualbelikan di pasar tradisional dan menjadi sumber protein utama bagi masyarakat, sehingga pengawasan terhadap kualitas dan keamanannya memiliki urgensi ilmiah maupun sosial.

Masalah penelitian ini berangkat dari dugaan adanya kandungan formalin pada ikan nila yang dijual di pasar tradisional Kota Gorontalo. Dugaan tersebut tidak dapat dipandang sebagai isu lokal yang terisolasi, sebab berbagai studi sebelumnya telah menunjukkan bahwa formalin masih ditemukan pada produk perikanan di pasar tradisional. Penelitian pada 148 sampel ikan dan seafood asin dari pasar tradisional Samarinda menemukan kadar formalin 0,21–21,1 mg/kg dengan rerata $2,77 \pm 4,39$ mg/kg; estimasi asupan harian mencapai 0,09–3,64 $\mu\text{g}/\text{kg}$ berat badan/hari, dengan nilai hazard quotient kurang dari 1, tetapi nilai cancer risk tetap menunjukkan risiko kanker pada konsumen (Ritonga et al., 2024). Studi lain pada ikan segar di Pasar Tradisional Parluasan Pematangsiantar menggunakan test kit formalin dan melibatkan 5 jenis ikan dari 10 responden, yang menunjukkan bahwa produk perikanan segar rentan mengalami penurunan mutu dan masih berpotensi diawetkan dengan formalin meskipun berbahaya serta dilarang (Simanjuntak dan Silalahi, 2022). Penelitian kuantitatif pada produk perikanan kering di Nagan Raya yang dilakukan Februari–Juli 2024 menggunakan asam kromatofat dan spektrofotometri UV-Vis juga menegaskan bahwa formalin masih disalahgunakan pada produk perikanan kering, meskipun Peraturan Menteri Kesehatan No. 33 Tahun 2012 melarang formalin dalam pangan (Fadila et al., 2024). Di Gorontalo, studi sebelumnya telah mengidentifikasi formalin pada bahan pangan pasar tradisional, termasuk ikan segar, tahu, dan ikan asin; hal ini memperlihatkan bahwa isu keamanan pangan lokal masih memerlukan perhatian serius (Astuti dan Tebai, 2018).

Dari sisi kesehatan masyarakat, keberadaan formaldehida pada pangan tidak dapat ditoleransi karena zat ini memiliki sifat toksik, iritatif, genotoksik, dan karsinogenik. Formaldehida merupakan bahan kimia sangat reaktif dan toksik yang diklasifikasikan oleh IARC sebagai karsinogen kelompok 1 berdasarkan bukti kanker nasofaring dan leukemia; stres oksidatif yang dipicu formaldehida dapat menyebabkan perubahan genetik dan mengganggu sistem hematopoietik (Kang et al., 2021). Review sistematis terhadap paparan formaldehida dan kanker juga menegaskan bahwa formaldehida telah diklasifikasikan sebagai karsinogen kelompok 1 sejak 2004, dengan evaluasi epidemiologis selama 20 tahun dari 1 Januari 2000 hingga 31 Juli 2021 (Protano et al., 2022). Perhatian ilmiah terhadap bahaya formaldehida terus meningkat, sebagaimana ditunjukkan oleh review bibliometrik 46 tahun yang menganalisis 468 dokumen dari 1977–2023, melibatkan 1.956 penulis dari 56 negara, serta menunjukkan peningkatan publikasi dari 1 artikel pada 1977 menjadi 19 artikel pada 2022 (Khoshakhlagh et al., 2024). Paparan formalin pada makanan dapat mengiritasi mata, hidung, dan tenggorokan, merusak hati serta ginjal, dan meningkatkan risiko kanker dalam jangka panjang (Astuti dan Tebai, 2018). Solusi umum terhadap masalah ini adalah memperkuat pengawasan keamanan

pangan, membatasi akses dan penyalahgunaan bahan kimia berbahaya, meningkatkan edukasi pedagang dan konsumen, serta menyediakan metode deteksi formalin yang akurat, cepat, dan dapat diterapkan dalam sistem pemantauan pasar.

Sejumlah pendekatan ilmiah telah dikembangkan untuk mendukung deteksi formalin pada produk pangan. Validasi metode analisis formalin pada ikan asin menunjukkan bahwa pereaksi Nash memiliki linearitas sangat tinggi dengan $R^2 = 0,9999$, limit of detection 0,0247 ppm, dan recovery 42,72%, sedangkan pereaksi asam kromatofat memiliki $R^2 = 0,9985$ dan limit of detection 0,0926 ppm; kadar formalin terbesar pada pasar A dan B masing-masing mencapai 0,4671 ppm dan 0,815 ppm (Suseno, 2021). Analisis formalin pada 10 sampel tahu putih dari 5 pasar tradisional Surakarta menemukan 30% sampel positif formalin, dengan sensitivitas Nash reagent hingga 3,125 ppm, lebih baik dibanding TLC 6,25 ppm, Schiff 25 ppm, dan $KMnO_4$ 50 ppm (Prasetyo dan Hidayatullah, 2026). Studi pada tahu mentah dari pasar tradisional Sidenreng Rappang menunjukkan tiga sampel positif formalin dengan kadar 1,13%, 1,83%, dan 1,85% menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada 555 nm (Hasrianti et al., 2024). Temuan tersebut menegaskan bahwa pengujian formalin tidak hanya relevan pada ikan, tetapi juga pada pangan mudah rusak lainnya. Dengan demikian, penggunaan test kit sebagai skrining awal dan metode spektrofotometri sebagai konfirmasi kuantitatif dapat menjadi strategi analitis yang lebih kuat untuk mengidentifikasi keberadaan formalin pada ikan nila yang dipasarkan di pasar tradisional.

Selain pendekatan laboratorium, solusi terhadap penyalahgunaan formalin juga harus mempertimbangkan dimensi etika, sosial, dan keagamaan, terutama dalam masyarakat Muslim. Prinsip halal dan tayyib menempatkan pangan tidak hanya sebagai sesuatu yang diperbolehkan secara zat dan cara memperolehnya, tetapi juga harus bersih, aman, bermutu, dan tidak membahayakan tubuh. Konsep halal dan tayyib perlu dipahami secara rasional dalam konteks keamanan pangan, karena halal menunjukkan status kebolehan, sedangkan tayyib berkaitan dengan proses yang menjamin makanan bersih, murni, aman, dan sesuai syariah (Alzeer et al., 2018). Prinsip halal dan tayyib dalam layanan pangan menuntut penyedia makanan memastikan produk yang halal, aman, enak, dan bermutu, karena keracunan pangan merupakan ancaman serius bagi kesehatan publik (Md Dahlal et al., 2024). Dalam konteks Indonesia, efektivitas keamanan pangan dalam industri halal bergantung pada peran berbagai pemangku kepentingan, termasuk pelaku usaha, Dinas Kesehatan, BPOM, akademisi, dan pengawas pangan, dengan aspek prioritas ekonomi, sosial-budaya, dan kelembagaan (Susilowati et al., 2024). Prinsip halal dan tayyib bahkan dipandang sebagai standar mutu tertinggi dan indikator daya saing produk, karena pangan harus menjamin keamanan, higienitas

proses, dan kualitas bahan baku (Harunaningtyas dan Rohana, 2025). Studi perilaku pada 207 responden di enam provinsi Pulau Jawa juga menunjukkan bahwa faktor etika berpengaruh sangat signifikan terhadap perilaku membeli makanan halal-thayyib, dengan $\beta = 0,431$ dan $p < 0,001$ (Istiasih, 2022). Perspektif ini sejalan dengan Surah Al-Baqarah [2]:168 yang memerintahkan manusia mengonsumsi makanan yang halal dan baik, sehingga penggunaan formalin pada pangan jelas bertentangan dengan prinsip thayyib.

Literatur yang tersedia menunjukkan bahwa formaldehida pada ikan dapat berasal dari pembentukan alami maupun penambahan ilegal, dengan kadar yang dipengaruhi oleh dimensi ikan, kualitas pakan, zona penangkapan, metode pengawetan, penanganan, dan kondisi penyimpanan (Jinadasa et al., 2022). Namun, sebagian besar studi formalin di Indonesia masih berfokus pada ikan asin, seafood asin, produk perikanan kering, tahu, atau pangan tradisional, sedangkan penelitian spesifik pada ikan nila segar di pasar tradisional Kota Gorontalo masih terbatas. Penelitian di Samarinda menyediakan data kadar formalin pada ikan dan seafood asin, penelitian di Pematangsiantar memberikan bukti pada ikan segar, dan penelitian Nagan Raya memperkuat bukti pada produk perikanan kering (Ritonga et al., 2024; Simanjuntak dan Silalahi, 2022; Fadila et al., 2024). Akan tetapi, belum banyak kajian yang secara khusus menghubungkan komoditas ikan nila segar, konteks pasar tradisional Gorontalo, risiko formalin, dan justifikasi halal-thayyib dalam satu kerangka penelitian. Kesenjangan ini penting karena ikan nila memiliki posisi ekonomi dan gizi yang kuat, sementara pasar tradisional sering menghadapi keterbatasan fasilitas penyimpanan dingin, pengawasan mutu, dan edukasi pedagang. Oleh karena itu, penelitian pada ikan nila di Kota Gorontalo diperlukan untuk memperluas bukti empiris tentang keamanan pangan lokal serta memperkuat dasar kebijakan pengawasan produk perikanan konsumsi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keberadaan formalin pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang dijual di pasar tradisional Kota Gorontalo serta menilai kemungkinan adanya perbedaan kadar formalin antar lokasi penjualan. Secara konseptual, penelitian ini didasarkan pada asumsi bahwa ikan nila yang beredar di pasar tradisional berpotensi mengandung formalin karena sifat ikan yang mudah membusuk dan adanya tekanan ekonomi untuk mempertahankan tampilan segar selama distribusi serta penjualan. Penelitian ini juga mengasumsikan bahwa kadar formalin dapat berbeda antar pasar karena variasi penanganan, penyimpanan, dan praktik pedagang. Kebaruan studi ini terletak pada fokus spesifik terhadap ikan nila segar di pasar tradisional Kota Gorontalo, integrasi isu keamanan pangan dan toksikologi perikanan, serta penguatan perspektif halal-thayyib sebagai dasar etika konsumsi dan perlindungan konsumen. Ruang

lingkup studi mencakup identifikasi formalin pada ikan nila yang dijual di pasar tradisional, perbandingan kadar formalin antar pasar, serta penyediaan informasi ilmiah bagi masyarakat, pemerintah daerah, dan pihak pengawas pangan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan berkontribusi pada pengembangan ilmu keamanan pangan dan toksikologi perikanan, sekaligus mendukung upaya pencegahan penggunaan bahan kimia berbahaya pada produk ikan konsumsi.

2. KAJIAN TEORITIS

Ikan Nila Klasifikasi, Morfologi, dan Karakter Biologis

Ikan nila (*Oreochromis niloticus*) merupakan komoditas akuakultur air tawar yang memiliki posisi penting dalam pangan dan ekonomi perikanan. Secara taksonomi, ikan nila diklasifikasikan ke dalam Kingdom Animalia, Filum Chordata, Kelas Actinopterygii, Ordo Cichliformes, Family Cichlidae, Genus *Oreochromis*, dan Spesies *Oreochromis niloticus* berdasarkan sistem taksonomi Linnaeus yang merujuk pada Integrated Taxonomic Information System (Uchola dan Ati, 2025). Secara morfologis, ikan nila memiliki tubuh pipih ke samping, bentuk memanjang, panjang tubuh sekitar dua hingga tiga kali tinggi tubuh, mulut terminal, sirip punggung panjang, sirip ekor membulat, sisik ctenoid, serta warna tubuh abu-abu keperakan atau kehijauan dengan bagian perut lebih putih (Willem H. Siegers, 2019). Dalam budidaya intensif, ikan nila dapat mencapai panjang 30 cm dan berat 500–800 g per individu, sedangkan literatur global menyebut bahwa ikan nila dapat mencapai ukuran pasar 600–900 g dalam sekitar 6 bulan, dengan produksi tilapia global pada 2017 mencapai 4,13 juta ton bernilai USD 7,61 miliar (Willem H. Siegers, 2019; Magbanua dan Ragaza, 2023). Ikan nila juga disebut sebagai spesies budidaya ketiga paling banyak dikembangkan di dunia, dengan kebutuhan protein yang dipengaruhi fase pertumbuhan, sistem pemeliharaan, kepadatan tebar, suhu, kualitas air, strain, manajemen pakan, dan mutu bahan pakan (Meurer et al., 2025). Karakterisasi morfometrik penting dalam studi ikan nila karena dapat membedakan strain dan sumber budidaya; penelitian pada 258 sampel ikan nila dari berbagai sistem kolam mengukur 8 karakter morfometrik, dengan minimal 30 ikan per sistem, serta menggunakan ketelitian 0,1 cm untuk panjang dan 0,1 g untuk bobot dalam analisis hubungan panjang-berat $W = aL^b$ (Kwikiriza et al., 2023).

Formalin: Definisi, Komposisi, Sifat Kimia, dan Larangan Pangan

Formalin merupakan larutan formaldehida dalam air yang umumnya mengandung formaldehida sekitar 30–40% dan metanol sekitar 10–15% sebagai stabilisator untuk mencegah polimerisasi, sedangkan formaldehida sendiri merupakan aldehida paling sederhana, berupa

gas tidak berwarna, beraroma tajam, dan sangat larut dalam air maupun alkohol (Afifah, Kusumawati, dan Farpina, 2024). Dalam bentuk lain, formalin dijelaskan sebagai larutan jenuh gas formaldehida atau CH_2O dengan konsentrasi sekitar 37–40%, memiliki sifat reaktif, mudah menguap, titik didih sekitar 19°C , mudah teroksidasi menjadi asam format, serta banyak digunakan untuk disinfektan, pengawet spesimen biologis, resin, plastik, pestisida, dan bahan kimia industri (Kang et al., 2021). Penggunaan formalin dalam pangan dilarang karena sifat toksik dan karsinogeniknya, meskipun formaldehida masih sering ditambahkan secara ilegal pada makanan karena sifat antiseptik dan pengawet yang mampu memperpanjang umur simpan (WHO, 2019; Badan POM RI, 2021; Rahman et al., 2023). Pada produk ikan dan seafood, formaldehida dapat berasal dari pembentukan alami, terutama melalui degradasi trimethylamine oxide, atau dari penambahan ilegal; variasinya dipengaruhi dimensi ikan, kualitas pakan, zona tangkap, metode pengawetan, penanganan, dan kondisi penyimpanan pascapanen (Jinadasa et al., 2022). Seafood kaya protein, asam lemak n-3 dan n-6 PUFA, mineral, serta vitamin D, tetapi sangat mudah membusuk sehingga beberapa bahan kimia, termasuk formaldehida, pernah digunakan untuk mempertahankan mutu dan umur simpan (Mehta et al., 2024). Formalin dapat membentuk ikatan silang dengan gugus amino, hidroksil, dan sulfhidril sehingga menghambat pembusukan tetapi berpotensi merusak protein, enzim, dan DNA, serta sulit dihilangkan sepenuhnya melalui pencucian atau pemanasan (Protano et al., 2022; Universitas Brawijaya, 2022). Karena ikan nila memiliki kandungan protein tinggi dan tekstur daging relatif lembut, jaringan ototnya dapat menjadi matriks yang sensitif terhadap penyerapan residu formalin, sehingga relevan untuk pengujian keamanan pangan (Fikriyah et al., 2023; Muharani, Aditama, dan Fahdhienie, 2025).

Bahaya Formalin dan Mekanisme Kontaminasi pada Ikan

Bahaya formalin terhadap kesehatan bersifat akut maupun kronis. Paparan formaldehida dapat menyebabkan iritasi mata, hidung, saluran pernapasan, sakit kepala, kantuk, gangguan pencernaan, genotoksisitas, gangguan sistem saluran kemih, leukemia, dan kanker, dengan risiko dipengaruhi intensitas, durasi, frekuensi paparan, berat badan, usia, dan jenis kelamin konsumen (Kang et al., 2021). IARC mengklasifikasikan formaldehida sebagai karsinogen kelompok 1 berdasarkan bukti kanker nasofaring dan leukemia, sedangkan WHO menyebut paparan akut 30 mg/kg berat badan dapat menyebabkan gejala keracunan serius pada manusia (WHO, 2019; Kang et al., 2021). Mekanisme toksik formaldehida berhubungan dengan stres oksidatif, perubahan genetik, gangguan sistem hematopoietik, dan pembentukan ikatan silang pada DNA serta protein sel (Kang et al., 2021; Protano et al., 2022). Review sistematis berdasarkan PRISMA terhadap studi paparan formaldehida dari 1 Januari 2000 hingga 30 Juli

2021 menemukan 21 artikel dari Eropa, Amerika, dan Asia, dengan asosiasi terhadap kanker paru, kanker nasofaring, leukemia, dan limfoma non-Hodgkin (Protano et al., 2022). Selain formalin, kontaminasi ikan dapat berasal dari limbah industri yang membawa logam berat seperti merkuri, timbal, dan kadmium, limpasan pertanian, mikroorganisme patogen, serta mikroplastik dalam rantai makanan akuatik (Ali, Khan, dan Ilahi, 2019; Barboza et al., 2018; Singh dan Sharma, 2024). Mikroplastik pada otot ikan komersial dilaporkan berkisar 0,016–6,06 item/g dan ditemukan pada 56,5% sampel ikan komersial, sedangkan skenario konsumsi 70,68 g ikan per hari dapat menghasilkan paparan maksimum 409,94 partikel mikroplastik per hari (Makhdoumi et al., 2023; More et al., 2022). Dari sisi pascapanen, pembusukan ikan terutama disebabkan autolisis enzimatik, oksidasi lipid, dekomposisi protein, dan degradasi mikroba, sehingga produk ikan mudah mengalami perubahan bau, rasa, tekstur, dan nilai gizi apabila tidak ditangani dengan baik (Nie et al., 2022). Kondisi penyimpanan buruk juga mempercepat kontaminasi silang dari alat, air, serangga, permukaan kerja, serta pertumbuhan bakteri patogen seperti *Salmonella* spp. dan *Vibrio* spp., sehingga rantai dingin dan praktik higienis menjadi prasyarat keamanan produk perikanan (Nie et al., 2022; Mustafa et al., 2024; Siddiqui et al., 2024).

Penelitian Relevan dan Kesenjangan Penelitian

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa formalin masih ditemukan pada produk perikanan Indonesia, baik ikan segar, ikan asin, maupun produk perikanan kering. Kajian penelitian terdahulu diperlukan untuk memperkuat argumen teoritis, menentukan variabel, memilih metode deteksi, dan merumuskan hipotesis yang dapat diuji secara empiris (Neuman, 2014; Sugiyono, 2021). Ritonga et al. (2024) menganalisis 148 sampel ikan dan seafood asin dari pasar tradisional Samarinda, mencakup 12 spesies ikan dan 4 spesies seafood asin, menggunakan spektrofotometer Spectroquant Prove 100 VIS pada absorbansi 628 nm, kurva standar 0–1,2 mg/L, blanko, uji spike recovery, dan analisis duplikat. Kadar formalin yang ditemukan berkisar 0,21–21,1 mg/kg dengan rata-rata $2,77 \pm 4,39$ mg/kg, estimasi asupan harian 0,09–3,64 $\mu\text{g/kg}$ berat badan/hari, hazard quotient < 1 , tetapi cancer risk tetap menunjukkan potensi risiko kanker pada laki-laki, perempuan, dan anak-anak (Ritonga et al., 2024). Fadila dan Agustina (2024) melaporkan bahwa produk ikan asin, teri asin, dan cumi asin dari pasar Nagan Raya pada Februari–Juli 2024 mengandung formalin dengan kadar rata-rata tertinggi 20,20 mg/kg dan terendah 12,59 mg/kg, sedangkan kadar tertinggi pada teri asin lokal mencapai 37,26 mg/kg dan terendah pada cumi asin lokal sekitar 4,43 mg/kg. Simanjuntak dan Silalahi (2022) menemukan formalin pada 5 jenis ikan segar dari 10 pedagang di Pasar Tradisional Parluasan Pematangsiantar, yakni kakap 3,42 mg/L, kerapu 2,47 mg/L,

tongkol 1,73 mg/L, tuna 1,40 mg/L, dan bawal 0,528 mg/L. Putri et al. (2023) menemukan 30 dari 34 sampel ikan teri asin atau 88,24% positif formalin di pasar tradisional Kota Magelang, dengan rata-rata kadar 1.564,422 ppm serta hubungan signifikan antara pengetahuan pedagang dan formalin ($p = 0,031$) serta sikap pedagang dan formalin ($p = 0,006$). Dieningrum (2023) melaporkan 40 dari 41 sampel ikan asin klotok di Surabaya Utara mengandung formalin, tetapi hubungan pengetahuan maupun sikap pedagang dengan penggunaan formalin tidak signifikan ($p > 0,05$). Di Gorontalo, Mobonggi, Naiu, dan Mile (2014) menemukan formalin tidak terdeteksi pada ikan teri asin kering dari Pasar S, Pasar L, dan Swalayan H, dengan sampel 1 kg per lokasi dan mutu kimia-mikrobiologi memenuhi SNI 0127081992, sedangkan Darmayani dan Hasna (2021) menunjukkan formalin masih banyak ditemukan pada ikan asin di Kendari. Perbedaan hasil ini menguatkan perlunya penelitian lokal yang spesifik pada ikan nila segar di Gorontalo dengan pendekatan test kit screening dan konfirmasi spektrofotometri, terutama karena metode deteksi cepat formaldehida pada pangan terus berkembang, dengan lebih dari 50 artikel Scopus dalam 5 tahun terakhir terkait sensor formaldehida (Fappiano et al., 2022).

Kerangka Teoretik, Variabel, dan Hipotesis Penelitian

Kerangka teoretik penelitian ini bertolak dari teori keamanan pangan, kesehatan lingkungan, manajemen rantai pasok pangan segar, serta perilaku ekonomi produsen. Formalin diposisikan sebagai bahan kimia berbahaya yang tidak diperbolehkan dalam pangan karena risiko toksik dan karsinogeniknya, sedangkan keterbatasan rantai dingin pada pasar tradisional dapat mempercepat pembusukan ikan dan mendorong pedagang mencari cara pengawetan instan (WHO, 2019; BPOM RI, 2021; Mustafa et al., 2024). Dalam perspektif perilaku produsen, keputusan penggunaan pengawet ilegal dapat dipengaruhi motif ekonomi untuk mengurangi kerugian akibat cepatnya kemunduran mutu ikan, karena ikan menyumbang sekitar 16% protein hewani global tetapi sangat mudah rusak sehingga pedagang mencari metode murah untuk memperpanjang umur simpan, termasuk perendaman atau penyemprotan formalin (Wydyanto dan Yandi, 2020; Kaur et al., 2024). Dengan demikian, kondisi pasar tradisional, keterbatasan penyimpanan, dan faktor sosial-ekonomi pedagang dapat dipahami sebagai variabel bebas; penggunaan formalin sebagai faktor perilaku atau moderator; dan kadar formalin pada ikan nila sebagai variabel terikat. Dampak implikatifnya adalah risiko kesehatan konsumen akibat paparan formaldehida melalui produk ikan konsumsi. Berdasarkan kerangka tersebut, hipotesis nol menyatakan tidak terdapat perbedaan kadar formalin pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang dijual di pasar tradisional Kota Gorontalo, sedangkan hipotesis alternatif menyatakan terdapat perbedaan kadar formalin antar pasar tradisional. Kerangka ini

juga didukung oleh temuan bahwa formalin buatan pada ikan nila lebih mudah diidentifikasi dibanding formalin alami, serta bahwa formalin masih dapat terdeteksi dalam jaringan ikan nila meskipun telah dicuci atau dimasak (Fikriyah et al., 2023; Universitas Brawijaya, 2022).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pengujian, Penerapan Mutu, dan Diversifikasi Produk Perikanan sebagai tempat analisis kandungan formalin pada sampel ikan nila (*Oreochromis niloticus*). Pengambilan sampel dilakukan di pasar tradisional Kota Gorontalo, yaitu lokasi pemasaran ikan nila hasil budidaya yang dikonsumsi masyarakat. Penelitian berlangsung pada Januari sampai Februari 2026, meliputi tahap persiapan, pengambilan sampel, pengujian laboratorium, analisis data, dan pengolahan data. Pemilihan lokasi pasar didasarkan pada relevansi pasar tradisional sebagai titik distribusi akhir produk ikan segar, karena studi sebelumnya menunjukkan bahwa ikan dan seafood sangat mudah mengalami penurunan mutu serta dapat terpapar bahan pengawet ilegal selama rantai distribusi (Mehta et al., 2024; Rahman et al., 2023).

Alat dan Bahan Penelitian

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *formaldehyde test kit* untuk skrining kandungan formalin pada sampel ikan. Penggunaan test kit sesuai untuk pemeriksaan lapangan karena metode deteksi formalin pada ikan dapat dilakukan melalui berbagai pendekatan, seperti spektrofotometri, GC, HPLC, fluorometri, biosensor, perangkat kertas, chemical test kits, dan sensor elektrokimia; metode instrumental umumnya lebih akurat tetapi mahal dan kompleks, sedangkan kit kimia lebih praktis untuk skrining cepat (Kaur et al., 2024). Alat pendukung meliputi timbangan analitik, pisau dan wadah sampel steril, pipet, tabung ukur, gelas ukur, erlenmeyer 250 ml, tabung reaksi, rak tabung, kertas label, serta alat tulis. Bahan penelitian terdiri atas ikan nila sebagai sampel uji, aquades sebagai pelarut, reagen kit sebagai pereaksi deteksi formalin, dan larutan formalin standar sebagai kontrol positif.

Tabel 1. Alat yang digunakan dalam penelitian.

Alat	Fungsi
Formaldehyde test kit	Mendeteksi formalin
Timbangan analitik	Menimbang sampel
Pisau dan wadah sampel steril	Memotong dan menyimpan sampel
Pipet	Mengambil sampel cair

Tabung ukur dan gelas ukur	Mengukur volume larutan
Erlenmeyer 250 ml	Wadah pencampur larutan
Tabung reaksi dan rak tabung	Wadah dan penopang sampel uji
Kertas label dan alat tulis	Identifikasi dan pencatatan sampel

Tabel 2. Bahan yang digunakan dalam penelitian.

Bahan	Fungsi
Ikan nila	Sampel uji
Aquades	Pelarut bahan kimia
Reagen kit	Mendeteksi formalin
Larutan formalin standar	Kontrol positif

Pemilihan alat dan bahan tersebut disesuaikan dengan kebutuhan analisis formaldehida dalam matriks ikan. Review mengenai pangan Indonesia menegaskan bahwa formalin 37% masih ditemukan pada beberapa pangan, sehingga diperlukan metode analisis yang memadai untuk mengevaluasi keberadaannya (Putri et al., 2024). Selain itu, analisis formaldehida pada ikan perlu memperhatikan kemungkinan formaldehida alami dan formaldehida tambahan ilegal, karena batas keamanan yang sering dirujuk dalam literatur adalah 5 mg/kg (Jinadasa et al., 2022).

Populasi dan Sampel

Populasi penelitian mencakup seluruh penjual ikan nila di pasar tradisional Kota Gorontalo yang tersebar pada lima pasar utama, yaitu Pasar Moodu, Potanga, Andalas, Sentral, dan TPI Kota. Estimasi total populasi adalah ± 100 pedagang ikan nila. Sampel ditentukan dengan metode *purposive sampling*, yaitu memilih pedagang berdasarkan kriteria yang sesuai dengan tujuan penelitian, terutama pedagang yang menjual ikan nila segar untuk konsumsi. Jumlah sampel dihitung menggunakan rumus Slovin dengan tingkat kesalahan 10%, dengan notasi n sebagai jumlah sampel, N sebagai jumlah populasi, dan e sebagai tingkat kesalahan. Pendekatan *sampling* berbasis pasar serupa digunakan dalam penelitian terdahulu, seperti studi pada 148 sampel ikan dan seafood asin dari pasar tradisional (Ritonga et al., 2024), pengujian produk perikanan kering di Nagan Raya pada Februari–Juli 2024 (Fadila et al., 2024), serta pemeriksaan ikan segar dari 10 responden di Pasar Tradisional Parluasan (Simanjuntak & Silalahi, 2022).

Prosedur Penelitian

Pengambilan sampel dilakukan dengan menyiapkan plastik sampel dan alat tulis untuk pencatatan data lapangan. Sampel dari setiap pasar dimasukkan ke dalam plastik, diberi label, kemudian disimpan dalam pendingin untuk menjaga mutu dan mencegah perubahan kimiawi sebelum dianalisis. Preparasi sampel dilakukan dengan mengambil daging ikan pada bagian punggung sebanyak 2 gram, kemudian dihaluskan hingga homogen. Sampel homogen ditambahkan 50 ml aquades, diaduk sampai merata, lalu disaring menggunakan kertas saring halus untuk memperoleh filtrat jernih sebagai larutan uji. Prinsip preparasi ini sejalan dengan prosedur analisis formalin pada ikan segar yang menggunakan penimbangan sampel, penambahan aquadest, homogenisasi, sentrifugasi, dan pemanfaatan supernatan untuk pengujian berbasis reagen (Aulia et al., 2026).

Pengujian formalin dilakukan dengan memasukkan 2 ml filtrat ke dalam tabung uji, kemudian menambahkan reagen A dan reagen B sesuai petunjuk kit, umumnya masing-masing 1–2 tetes. Campuran digoyangkan perlahan dan didiamkan selama 1–2 menit. Tidak adanya perubahan warna menunjukkan hasil negatif, sedangkan perubahan warna menjadi kuning hingga oranye menunjukkan hasil positif. Estimasi kadar formalin dilakukan dengan membandingkan warna larutan terhadap skala warna baku dalam satuan ppm. Untuk penguatan analisis, kadar formalin juga dianalisis menggunakan metode Spektrofotometri Nash, yaitu reaksi formaldehida dengan reagen Nash yang menghasilkan senyawa kuning dan dibaca pada panjang gelombang 412 nm. Validasi spektrofotometri formalin pada ikan asin menunjukkan pereaksi Nash memiliki R^2 0,9999, LoD 0,0247 ppm, LoQ 0,0822 ppm, dan recovery terbesar 42,72%, sehingga relevan untuk pengukuran formaldehida dalam matriks ikan (Suseno, 2021). Validasi metode diperlukan agar data analisis bersifat akurat, spesifik, reproduibel, dan sesuai kisaran analit, dengan parameter presisi, akurasi, batas deteksi, batas kuantifikasi, spesifisitas, linearitas, rentang, kekasaran, serta ketahanan metode (Suseno, 2021). Metode pengukuran lain seperti sensor fluoresensi berbasis MOF memiliki rentang linear 0,1–50 μM dan batas deteksi 0,03 μM , tetapi penelitian ini tetap menggunakan pendekatan kit dan spektrofotometri karena lebih sesuai dengan fasilitas laboratorium yang tersedia (Zuo et al., 2023).

Pengukuran panjang dan berat dilakukan untuk menghubungkan ukuran fisik ikan dengan kadar formalin. Panjang total diukur dari ujung moncong hingga ujung ekor menggunakan mistar dengan ketelitian $\pm 0,1$ cm. Berat ikan ditentukan menggunakan timbangan digital atau analitik dengan akurasi $\pm 0,01$ g setelah sampel ditiriskan. Pengukuran morfometrik penting karena hubungan biometrik ikan nila dapat digunakan untuk memperkirakan berat berdasarkan panjang total, panjang standar, tinggi, dan lebar, dengan

model R^2 0,899–0,994 serta mean relative error 11,2% (Carrillo La Rosa et al., 2025). Studi lain juga menunjukkan pengukuran 8 karakter morfometrik pada 258 sampel ikan nila dapat dianalisis menggunakan multivariate analysis, ANOVA, dan uji Tukey pada $p < 0,05$ untuk membandingkan variasi antar populasi (Kwikiriza et al., 2023). Parameter mutu lain seperti pH 6,39–7,12, TVB 12,55–30,98 mgN/100 g, FA 0,25–0,45 ppm, dan DMA 0,54–0,67 ppm juga pernah digunakan untuk menilai kesegaran dan formalin dalam rantai pasok ikan (Arafah et al., 2025).

Teknik Analisis Data

Data dianalisis secara deskriptif untuk menggambarkan panjang, berat, dan kadar formalin pada setiap pasar. Hubungan antara panjang ikan dan formalin, serta berat ikan dan formalin, dianalisis menggunakan koefisien korelasi Pearson. Nilai $r > 0$ menunjukkan hubungan positif, nilai $r < 0$ menunjukkan hubungan negatif, sedangkan $r = 0$ menunjukkan tidak adanya hubungan linier. Analisis ini digunakan untuk menilai kekuatan dan arah hubungan antara ukuran fisik ikan dengan kandungan formalin, sehingga pola keterkaitan mutu fisik dan kontaminasi kimia dapat dijelaskan secara kuantitatif.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Fokus dan Ruang Lingkup Hasil Penelitian

Hasil penelitian ini menyajikan data pengamatan panjang, berat, kandungan formalin, serta hubungan antara ukuran fisik ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dengan kadar formalin pada sampel yang diperoleh dari pasar tradisional Kota Gorontalo. Pengamatan ukuran fisik dilakukan karena panjang dan berat ikan dapat memberikan gambaran awal mengenai variasi ukuran panen, perbedaan sumber pasokan, serta kemungkinan perbedaan kondisi penanganan dan penyimpanan sebelum ikan dijual kepada konsumen. Dalam studi akuakultur, hubungan panjang–berat ikan digunakan untuk memperkirakan biomassa dan kondisi pertumbuhan, bahkan model biometrik berbasis panjang total, panjang standar, tinggi, dan lebar ikan nila dapat menghasilkan nilai R^2 0,899–0,994, dengan panjang total sebagai prediktor bobot paling akurat dan mean relative error 11,2% (Carrillo La Rosa et al., 2025). Oleh karena itu, pengukuran panjang dan berat pada penelitian ini tidak hanya berfungsi sebagai data deskriptif, tetapi juga menjadi dasar untuk menilai kemungkinan keterkaitan ukuran fisik dengan keberadaan formalin.

Penelitian ini juga diarahkan untuk melihat variasi kandungan formalin antar pasar tradisional. Hal ini penting karena mutu ikan pascapanen dapat dipengaruhi oleh perilaku penanganan, rantai distribusi, kondisi lingkungan, pengalaman pedagang atau nelayan, serta

waktu penjualan (Sari et al., 2025). Ikan merupakan bahan pangan yang cepat mengalami kerusakan akibat oksidasi lipid, dekomposisi protein oleh enzim endogen, dan kontaminasi mikroba; perubahan bau, rasa, tekstur, serta keamanan pangan dapat terjadi relatif cepat karena kadar air tinggi, pH mendekati netral, dan keberadaan mikrobiota alami (Nie et al., 2022). Produk akuatik yang kaya protein, lemak, vitamin, mineral, dan air juga mudah mengalami pertumbuhan mikroorganisme selama penyimpanan, sehingga indikator seperti *biogenic amines*, *trimethylamine*, *total volatile base nitrogen*, *thiobarbituric acid*, dan *K-value* sering digunakan untuk menilai mutu ikan (Dong et al., 2022). Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat digunakan untuk memberikan informasi awal bagi pengawasan keamanan pangan dan peningkatan kesadaran pedagang maupun konsumen terhadap risiko penggunaan formalin pada produk ikan (Yanuari dan Dinniah, 2025).

Analisis Panjang Ikan Nila

Tabel 4. Pengamatan Panjang Ikan Nila Selama Penelitian.

Pasar	Panjang (cm)
TPI Tenda	19,43
Moodu	20,84
Potanga	21,03
Andalas	22,97
Sentral	25,61

Berdasarkan Tabel 4, rata-rata panjang ikan nila yang dijual di lima pasar tradisional Kota Gorontalo menunjukkan variasi antar lokasi penjualan. Nilai panjang terendah terdapat pada Pasar TPI Tenda, yaitu 19,43 cm, sedangkan nilai tertinggi terdapat pada Pasar Sentral, yaitu 25,61 cm. Pasar Moodu memiliki rata-rata panjang ikan 20,84 cm, sementara Pasar Potanga menunjukkan nilai 21,03 cm. Kedua pasar tersebut memiliki ukuran ikan yang relatif berdekatan, sedangkan Pasar Andalas menunjukkan rata-rata panjang 22,97 cm, lebih tinggi dibandingkan TPI Tenda, Moodu, dan Potanga, tetapi masih lebih rendah dibandingkan Pasar Sentral.

Perbedaan panjang ikan antar pasar menunjukkan bahwa ikan nila yang dipasarkan kemungkinan berasal dari sumber, ukuran panen, atau sistem distribusi yang berbeda. Variasi panjang juga dapat dipengaruhi oleh teknik budidaya, durasi pemeliharaan, umur panen, dan pola distribusi ikan sebelum sampai ke pasar (Aeni, 2022). Temuan ini sejalan dengan studi morfometrik ikan nila yang menunjukkan bahwa variasi bentuk dan ukuran tubuh dapat digunakan untuk membedakan strain serta sistem budidaya. Kwikiriza et al. (2023) melaporkan pengukuran 8 karakter morfometrik pada 258 sampel ikan nila, dengan minimal 30 sampel dari setiap sistem kolam, sehingga variasi morfometrik dapat menjadi indikator perbedaan populasi atau kondisi pemeliharaan. Studi lain menunjukkan bahwa perbandingan populasi ikan nila

berdasarkan bobot, panjang, *centroid size*, dan faktor kondisi memperlihatkan perbedaan signifikan antar populasi pada $p < 0,05$, sedangkan nilai $Kn \geq 1$ menunjukkan kondisi relatif baik (Tibihika et al., 2023). Dengan demikian, variasi panjang ikan dalam penelitian ini dapat ditafsirkan sebagai indikasi adanya perbedaan karakteristik pasokan dan kondisi ikan antar pasar.

Analisis Berat Ikan Nila

Tabel 5. Pengamatan Berat Ikan Nila Selama Penelitian.

Pasar	Berat (gram)
TPI Tenda	0,17
Moodu	0,20
Potanga	0,21
Andalas	0,49
Sentral	1,78

Hasil pengamatan berat ikan nila pada Tabel 5 menunjukkan perbedaan yang mencolok antar lokasi pasar. Pasar TPI Tenda memiliki rata-rata berat terendah, yaitu 0,17 gram. Berat ikan meningkat sedikit pada Pasar Moodu sebesar 0,20 gram dan Pasar Potanga sebesar 0,21 gram. Pasar Andalas menunjukkan rata-rata berat yang lebih tinggi, yaitu 0,49 gram, sedangkan Pasar Sentral memiliki nilai tertinggi, yaitu 1,78 gram menurut satuan yang tercantum dalam data penelitian. Pola ini menunjukkan bahwa Pasar Sentral memiliki sampel ikan dengan ukuran berat paling besar, sejalan dengan nilai panjang ikan yang juga tertinggi pada pasar tersebut.

Variasi berat ikan antar pasar dapat menggambarkan perbedaan ukuran panen, umur panen, kualitas pakan, kondisi lingkungan budidaya, serta sistem produksi. Dalam kajian perikanan, hubungan panjang–berat sering digunakan untuk menjelaskan pola pertumbuhan dan variasi kondisi fisik ikan pada habitat atau sistem budidaya yang berbeda (Kwikiriza et al., 2023). Carrillo La Rosa et al. (2025) menegaskan bahwa hubungan biometrik ikan nila dapat dimodelkan dari panjang total, panjang standar, tinggi, dan lebar untuk memperkirakan berat, dengan kisaran R^2 0,899–0,994. Oleh karena itu, perbedaan berat yang ditemukan pada penelitian ini dapat dipahami sebagai konsekuensi dari variasi ukuran tubuh, variasi pertumbuhan, dan kemungkinan perbedaan asal pasokan. Data berat juga penting dalam konteks penelitian keamanan pangan karena ukuran ikan dapat berkaitan dengan waktu penyimpanan dan strategi penanganan pascapanen sebelum ikan dijual.

Analisis Kandungan Formalin

Tabel 6. Pengamatan Hasil Uji Formalin.

Pasar	Formalin (ppm)
TPI Tenda	0,23
Moodu	0,23
Potanga	0,21
Andalas	0,17
Sentral	0,11

Berdasarkan Tabel 6, seluruh pasar yang diamati menunjukkan adanya kandungan formalin pada sampel ikan nila, meskipun kadarnya berbeda antar lokasi. Kadar formalin tertinggi terdapat pada Pasar TPI Tenda dan Pasar Moodu, masing-masing sebesar 0,23 ppm. Pasar Potanga menunjukkan kadar formalin sebesar 0,21 ppm, sedikit lebih rendah dibandingkan dua pasar tersebut. Pasar Andalas memiliki kadar formalin sebesar 0,17 ppm, sedangkan Pasar Sentral menunjukkan kadar formalin terendah, yaitu 0,11 ppm. Rentang kadar formalin yang ditemukan dalam penelitian ini adalah 0,11–0,23 ppm, yang menunjukkan adanya variasi antar pasar tradisional di Kota Gorontalo.

Perbedaan kadar formalin antar pasar dapat berkaitan dengan durasi penyimpanan, metode penanganan pascapanen, strategi distribusi, serta praktik pedagang dalam mempertahankan tampilan kesegaran ikan. Mutu ikan dapat dipengaruhi oleh pendinginan, durasi penyimpanan, dan pengangkutan, sehingga kandungan bahan kimia seperti formalin dapat bervariasi antar lokasi pasar (Vatria, 2021). Hasil ini juga sejalan dengan temuan pada rantai pasok ikan laut di Lampung Selatan, yang menunjukkan perbedaan mutu antara sampel dari pengepul dan pasar tradisional, dengan nilai pH 6,39–7,12, TVB 12,55–30,98 mgN/100 g, TMA 8,82–12,35 mgN/100 g, FA 0,25–0,45 ppm, dan DMA 0,54–0,67 ppm (Arafah et al., 2025). Pada konteks yang lebih luas, formaldehida dapat terbentuk alami selama penuaan dan deteriorasi ikan, terutama pada ikan laut yang kaya TMAO, sedangkan ikan air tawar memiliki TMAO lebih rendah; batas FSSAI untuk formalin dilaporkan 4 mg/kg pada ikan air tawar dan 100 mg/kg pada ikan laut atau payau (Kaur et al., 2024). Karena ikan nila merupakan ikan air tawar, temuan formalin pada sampel tetap perlu dipandang sebagai indikator penting dalam pengawasan keamanan pangan.

Hasil penelitian ini juga konsisten dengan berbagai studi pasar tradisional yang melaporkan keberadaan formalin pada produk perikanan. Haetami et al. (2024) melaporkan tiga sampel positif formalin menggunakan MERCK formalin test kit, yaitu ikan asin wais 0,10 mg/L, ikan asin hiu 0,80 mg/L, dan salmon 0,25 mg/L. Ritonga et al. (2024) menganalisis 148 sampel ikan dan seafood asin dari pasar tradisional Samarinda yang terdiri atas 12 spesies ikan dan 4 spesies seafood untuk mendeteksi paparan formalin dan menilai risiko kesehatan

konsumen. Utari dan Agustin (2024) juga melaporkan bahwa dari 15 sampel dari 3 pasar tradisional di Pengambengan, Jembrana, satu sampel ikan teri positif mengandung formalin 10 ppm. Di luar Indonesia, Parameshwari et al. (2021) menunjukkan variasi kontaminasi formaldehida yang kuat antar pasar di Chennai, dengan deteksi sebesar 100% di N4 Beach, 93,33% di Chintadripet, 80,77% di Vanagaram, 68% di Pattinapakkam, dan 58,33% di Kasimedu. Rangkaian temuan tersebut memperkuat bahwa kontaminasi formalin pada produk ikan di pasar tradisional merupakan persoalan yang perlu dipantau secara berkelanjutan.

Korelasi Panjang dan Berat terhadap Formalin

Tabel 7. Korelasi Antara Panjang Dan Berat Terhadap Formalin.

Variabel	Rata-rata (X/Y)	Koefisien korelasi (r)	Interpretasi
Panjang (cm) vs Formalin (ppm)	21,976	-0,97	Sangat kuat dan negatif: semakin panjang ikan, kadar formalin cenderung lebih rendah
Berat (gram) vs Formalin (ppm)	0,57	-0,97	Sangat kuat dan negatif: semakin berat ikan, kadar formalin cenderung lebih rendah

Hasil analisis korelasi pada Tabel 7 menunjukkan bahwa hubungan antara panjang ikan dan kadar formalin memiliki koefisien korelasi $r = -0,97$. Nilai ini diinterpretasikan sebagai hubungan sangat kuat dan negatif, yang berarti semakin panjang ikan maka kadar formalin cenderung lebih rendah. Nilai rata-rata panjang ikan yang digunakan dalam analisis adalah 21,976 cm. Hubungan yang sama juga ditemukan pada variabel berat ikan terhadap formalin, dengan koefisien korelasi $r = -0,97$ dan rata-rata berat 0,57 gram. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin berat ikan maka kadar formalin cenderung menurun. Dalam analisis korelasi, koefisien Pearson digunakan untuk menilai kekuatan dan arah hubungan antarvariabel, sehingga nilai negatif yang sangat kuat menunjukkan hubungan berlawanan arah antara ukuran fisik ikan dan kadar formalin (Habib, Piantari, dan Riza, 2024).

Pola korelasi negatif ini menunjukkan bahwa sampel ikan berukuran lebih kecil cenderung memiliki kadar formalin yang lebih tinggi dibandingkan ikan yang lebih panjang dan lebih berat. Dalam konteks hasil penelitian, kondisi tersebut dapat dikaitkan dengan kemungkinan bahwa ikan berukuran kecil lebih mudah mengalami penurunan mutu atau lebih lama berada dalam rantai penjualan sehingga lebih berisiko diberi perlakuan pengawetan. Namun, hasil korelasi ini perlu dipahami sebagai hubungan statistik antara ukuran fisik dan kadar formalin, bukan sebagai bukti hubungan biologis langsung bahwa panjang atau berat ikan menentukan terbentuknya formalin. Dalam studi mutu pangan, seafood memang dapat mengalami kerusakan karena perubahan mikroba, enzimatis, dan oksidatif, sehingga sistem

rantai dingin dan teknik pengawetan aman diperlukan untuk mempertahankan kualitas (Siddiqui et al., 2024). Mehta et al. (2024) juga menegaskan bahwa formaldehida dilaporkan sebagai salah satu bahan kimia yang digunakan untuk menjaga mutu dan memperpanjang umur simpan seafood yang mudah membusuk.

Temuan formalin yang lebih tinggi pada pasar dengan rata-rata ukuran ikan lebih rendah juga dapat dikaitkan dengan praktik penanganan dan persepsi kesegaran ikan. Formaldehida diketahui dapat memengaruhi sifat fisik otot ikan. Perlakuan ikan dengan formaldehida 1%, 5%, dan 10% selama 5 menit meningkatkan residu hampir 7, 11, dan 15 kali, serta meningkatkan kekerasan dan kekenyalan otot, termasuk kenaikan *chewiness* 16–121%, sehingga ikan tampak lebih segar (Mehta et al., 2023). Oleh karena itu, keberadaan formalin pada ikan nila di lima pasar tradisional Kota Gorontalo perlu dipandang sebagai temuan penting dalam konteks keamanan pangan, meskipun kadar yang terukur berada dalam rentang rendah. Hasil ini memberikan dasar empiris bahwa pemantauan formalin perlu dilakukan secara rutin, terutama pada produk ikan segar di pasar tradisional, karena variasi kadar formalin dapat berkaitan dengan perbedaan ukuran ikan, lama penyimpanan, kondisi penanganan, serta pola distribusi antar lokasi pasar.

Pembahasan

Variasi panjang ikan nila yang diamati pada pasar tradisional Kota Gorontalo menunjukkan adanya perbedaan karakteristik ukuran sampel antar lokasi penjualan. Pada bagian hasil, rata-rata panjang ikan berkisar antara 19,43 cm di Pasar TPI Tenda hingga 25,61 cm di Pasar Sentral, sedangkan catatan pembahasan menyebutkan variasi panjang sebesar 17,8–25,61 cm. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa ikan yang beredar di pasar kemungkinan berasal dari sumber budidaya, umur panen, pola distribusi, dan sistem penanganan yang tidak seragam. Ukuran fisik ikan menjadi parameter penting karena berkaitan dengan nilai ekonomi, masa tunggu penjualan, dan kemungkinan perbedaan strategi penanganan pascapanen. Dalam konteks perdagangan ikan segar, panjang ikan tidak dapat dipahami semata-mata sebagai faktor biologis, tetapi perlu dikaitkan dengan rantai pasok dan perilaku pasar. Sari et al. (2025) menunjukkan bahwa mutu ikan pascapanen dipengaruhi oleh perilaku penanganan dan rantai distribusi; sebagian besar nelayan memang menggunakan es, tetapi jumlahnya sering tidak memadai, sementara persepsi pembeli terhadap ikan yang terlalu dingin juga memengaruhi keputusan penanganan. Kondisi tersebut dapat menjelaskan mengapa ikan dengan ukuran berbeda berpotensi mengalami perlakuan penyimpanan dan pengawetan yang berbeda sebelum dijual.

Hubungan antara panjang ikan dan kadar formalin pada penelitian ini menunjukkan pola negatif. Pada Tabel 7, korelasi panjang ikan dengan formalin bernilai $r = -0,97$, yang menunjukkan hubungan sangat kuat dan berlawanan arah. Artinya, semakin panjang ikan, kadar formalin cenderung lebih rendah. Namun, catatan pembahasan juga memuat nilai korelasi lain, yaitu $r = -0,216$ dengan $p < 0,05$, yang menunjukkan hubungan negatif tetapi lemah. Perbedaan nilai ini perlu dibaca secara hati-hati sebagai indikasi bahwa hubungan panjang ikan dan formalin dapat dipengaruhi oleh ketidakteraturan perlakuan pedagang, durasi penyimpanan, serta perbedaan kondisi pasar. Secara teoritis, ikan mudah mengalami pembusukan karena aktivitas mikroba, enzimatik, dan oksidatif. Nie et al. (2022) menegaskan bahwa penurunan mutu ikan selama penyimpanan dipengaruhi oksidasi lipid, dekomposisi protein oleh enzim endogen, dan kontaminasi mikroba, sedangkan Chi et al. (2025) menjelaskan bahwa pembusukan ikan dimediasi mikrobiota seperti *Pseudomonas*, *Shewanella*, dan *Photobacterium* melalui degradasi protein, pemecahan trigliserida, serta pembentukan senyawa volatil dan amina biogenik. Dengan demikian, kadar formalin yang lebih tinggi pada ikan berukuran lebih kecil dapat menunjukkan adanya praktik pengawetan yang lebih intensif pada ikan yang lebih cepat menurun mutunya.

Berat ikan nila dalam penelitian ini menunjukkan perbedaan mencolok antar pasar, yaitu 0,17 gram di Pasar TPI Tenda, 0,20 gram di Pasar Moodu, 0,21 gram di Pasar Potanga, 0,49 gram di Pasar Andalas, dan 1,78 gram di Pasar Sentral sebagaimana disajikan pada Tabel 5. Meskipun satuan berat tersebut perlu dipertahankan sesuai data asli, pola umum menunjukkan bahwa pasar dengan ikan lebih berat cenderung memiliki kadar formalin lebih rendah. Kondisi ini terlihat pada Pasar Sentral yang memiliki berat tertinggi dan kadar formalin terendah sebesar 0,11 ppm, sedangkan Pasar TPI Tenda dan Moodu memiliki berat lebih rendah dan kadar formalin tertinggi sebesar 0,23 ppm. Hubungan ini mendukung interpretasi bahwa ikan kecil atau ringan lebih rentan mengalami perlakuan pengawetan tambahan, terutama jika kualitasnya menurun lebih cepat selama distribusi dan penjualan.

Pemakaian formalin pada ikan secara umum tidak dapat dilepaskan dari tekanan ekonomi dan kebutuhan mempertahankan tampilan kesegaran. Kaur et al. (2024) menyatakan bahwa pemalsuan formalin pada ikan didorong oleh insentif finansial untuk memperpanjang kesegaran dan mencegah pembusukan, dan praktik ini dilaporkan umum di Asia Selatan, Asia Tenggara, serta Afrika. Formaldehida juga dilaporkan sebagai salah satu bahan kimia yang digunakan untuk menjaga mutu dan memperpanjang umur simpan seafood yang mudah rusak (Mehta et al., 2024). Di Indonesia, Putri et al. (2024) mencatat bahwa penambahan ilegal formalin 37% pada pangan masih ditemukan untuk memperpanjang umur simpan, meskipun

konsumsi formaldehida berdampak merugikan dan berpotensi menyebabkan kanker. Temuan ini memperjelas bahwa hubungan berat ikan dan formalin lebih tepat ditafsirkan sebagai cerminan praktik perdagangan dan pengawetan pascapanen, bukan hubungan biologis langsung antara bobot ikan dan pembentukan formalin.

Analisis korelasi Pearson pada Tabel 7 menunjukkan bahwa panjang rata-rata ikan sebesar 21,976 cm, berat rata-rata sebesar 0,57 gram, dan kadar formalin rata-rata sekitar 0,19 ppm. Nilai korelasi panjang-formalin dan berat-formalin masing-masing sebesar $r = -0,97$ menunjukkan pola hubungan negatif yang sangat kuat. Dengan demikian, semakin besar panjang atau berat ikan, kadar formalin cenderung menurun. Namun, catatan pembahasan juga menyajikan korelasi panjang-formalin sebesar $-0,216$ dengan $p < 0,05$ dan korelasi berat-formalin sebesar $-0,686$ dengan $p < 0,01$. Perbedaan nilai korelasi ini memperlihatkan perlunya kehati-hatian dalam interpretasi, karena kemungkinan terdapat perbedaan basis perhitungan, jumlah data, atau cara pengelompokan sampel. Rahman et al. (2023) menekankan bahwa formaldehida pada pangan dapat berasal dari mekanisme endogen maupun eksogen, sehingga penilaian risiko dan interpretasi data memerlukan pendekatan analitik yang mempertimbangkan sumber paparan dan konteks matriks pangan.

Korelasi negatif yang ditemukan dalam penelitian ini sejalan dengan argumen bahwa formalin lebih mungkin digunakan pada ikan yang dianggap lebih mudah rusak atau lebih lama tertahan dalam rantai penjualan. Penggunaan formaldehida pada ikan juga dapat memengaruhi persepsi visual dan tekstural konsumen. Mehta et al. (2023) melaporkan bahwa perlakuan ikan dengan formaldehida 1%, 5%, dan 10% selama 5 menit meningkatkan residu hampir 7, 11, dan 15 kali, sementara perlakuan 10% meningkatkan kekerasan dan kekenyalan otot masing-masing 80% dan 121%, sehingga ikan dapat tampak lebih segar. Yulistiani et al. (2024) juga menemukan bahwa dari 23 sampel ikan asin jambal roti di pasar tradisional Surabaya Utara, 6 sampel atau 26% positif formaldehida pada kadar 0,125–1,071 ppm; sampel positif memiliki tekstur lebih keras, warna lebih cerah pucat, dan aroma khas ikan asin berkurang. Data tersebut menunjukkan bahwa formalin tidak hanya berfungsi sebagai penghambat pembusukan, tetapi juga dapat mengubah karakteristik fisik ikan yang digunakan konsumen untuk menilai kesegaran.

Keberadaan formalin pada seluruh sampel ikan nila dari lima pasar tradisional Kota Gorontalo memiliki implikasi penting bagi keamanan pangan, meskipun konsentrasinya relatif rendah, yaitu 0,11–0,23 ppm sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6. Dalam konteks pangan, formaldehida pada ikan dapat terbentuk secara alami atau ditambahkan secara ilegal, dan kadar formaldehida ikan maupun seafood sejak tahun 2000 dilaporkan sering melampaui batas

keamanan 5 mg/kg (Jinadasa et al., 2022). Temuan di negara lain menunjukkan bahwa persoalan ini bersifat luas. Bhowmik et al. (2020) melaporkan konsumsi ikan rata-rata $68,22 \pm 17,37$ g/orang/hari di Bangladesh dengan kadar formaldehida ikan basah $9,39 \pm 3,39$ hingga $32,57 \pm 11,23$ mg/kg. Wihardi et al. (2023) menemukan formaldehida pada empat jenis ikan sebesar 8,30–105,09 mg/kg pada survei 505 responden berusia 5–60 tahun di Dramaga, dengan paparan harian masih di bawah 0,2 mg/kg bb/hari dan hazard quotient 0,007–0,073. Ritonga et al. (2024) juga melaporkan kadar formalin 0,21–21,1 mg/kg pada ikan dan seafood asin di pasar tradisional Samarinda, dengan estimated daily intake 0,09–3,64 μ g/kg bb/hari dan HQ < 1, tetapi risiko kanker tetap terindikasi.

Dari aspek kesehatan, formaldehida merupakan senyawa sangat reaktif yang berkaitan dengan toksisitas karsinogenik, neurotoksik, reproduktif, alergik, imunologis, genetik, dan respiratorik, meskipun konsentrasi bebasnya dalam pangan olahan dapat rendah (Sun et al., 2025). Kang et al. (2021) menyatakan bahwa formaldehida diklasifikasikan sebagai karsinogen Kelompok 1 berdasarkan kajian kanker nasofaring dan leukemia, serta dapat memicu perubahan genetik akibat stres oksidatif yang mengganggu sistem hematopoietik. Oleh karena itu, keberadaan formalin berulang pada semua sampel ikan nila tidak boleh hanya dinilai dari rendahnya satuan ppm, tetapi perlu dipandang sebagai sinyal lemahnya kontrol keamanan pangan di tingkat pasar. Yanuari dan Diniyah (2025) menunjukkan bahwa pada 120 sampel dari empat pasar tradisional Kota Cirebon, ikan asin memiliki kontaminasi formalin tertinggi 0,10–1,50 mg/L, tahu 0,10–0,25 mg/L, dan mie basah 0,10 mg/L, sehingga pengawasan formalin tetap relevan pada berbagai komoditas pangan tradisional.

Penguatan pengawasan perlu diarahkan pada pencegahan penurunan mutu ikan dan penutupan peluang penggunaan pengawet ilegal. Rantai dingin merupakan komponen penting dalam mempertahankan mutu ikan selama distribusi, dan teknologi pengawetan aman seperti high-pressure processing, modified atmosphere packaging, biopreservation, active packaging, serta vacuum packaging dapat memperpanjang umur simpan seafood hingga 50% (Siddiqui et al., 2024). Food and Agriculture Organization (n.d.) juga menegaskan bahwa penyimpanan dingin berperan penting dalam rantai nilai grosir, pengolahan, ekspor, dan ritel ikan; pada suhu -18°C , -24°C , dan -30°C , umur simpan ikan berlemak berglasir masing-masing sekitar 5 bulan, 9 bulan, dan lebih dari 12 bulan. Dalam konteks Indonesia, Peraturan BPOM Nomor 22 Tahun 2023 telah mengatur bahan baku yang dilarang dalam pangan olahan dan bahan yang dilarang digunakan sebagai bahan tambahan pangan, berlaku sejak 15 Agustus 2023 dan mencabut Peraturan BPOM Nomor 7 Tahun 2018 (Badan Pengawas Obat dan Makanan, 2023). Penerapan regulasi tersebut perlu dipadukan dengan pemeriksaan rutin di pasar tradisional,

edukasi pedagang mengenai penanganan ikan tanpa formalin, serta penyediaan sarana pendinginan yang lebih mudah diakses agar tekanan ekonomi tidak mendorong penggunaan bahan kimia berbahaya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang dijual di pasar tradisional Kota Gorontalo terdeteksi mengandung formalin dengan kadar yang berbeda antar lokasi penjualan. Kadar formalin pada lima pasar berada pada kisaran 0,11–0,23 ppm, dengan nilai tertinggi ditemukan pada Pasar TPI Tenda dan Moodu sebesar 0,23 ppm, sedangkan nilai terendah terdapat pada Pasar Sentral sebesar 0,11 ppm. Perbedaan kadar tersebut menunjukkan bahwa kondisi penanganan, penyimpanan, dan distribusi ikan di setiap pasar berpotensi memengaruhi keberadaan formalin pada produk ikan konsumsi.

Hasil pengukuran fisik menunjukkan bahwa panjang ikan berkisar 19,43–25,61 cm dan berat berkisar 0,17–1,78 gram. Analisis korelasi Pearson memperlihatkan hubungan negatif sangat kuat antara panjang ikan dan formalin serta berat ikan dan formalin, masing-masing dengan nilai $r = -0,97$. Pola ini mengindikasikan bahwa ikan yang lebih kecil atau lebih ringan cenderung memiliki kadar formalin lebih tinggi. Temuan tersebut memperkuat pentingnya pengawasan keamanan pangan berbasis pasar tradisional, terutama pada ikan segar yang mudah mengalami pembusukan. Penelitian ini berkontribusi pada kajian keamanan pangan dan toksikologi perikanan dengan menyediakan bukti empiris lokal mengenai kontaminasi formalin pada ikan nila, serta mendukung perlunya edukasi pedagang, peningkatan fasilitas rantai dingin, dan pengujian rutin produk perikanan.

DAFTAR REFERENSI

- Aeni, N. (2023). Strategi pengembangan budi daya ikan nila salin (*Oreochromis niloticus*) di Kabupaten Pati. *Buletin Ilmiah Marina Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*, 9(1). <https://doi.org/10.15578/marina.v9i1.11739>
- Arafah, P., Nurhayati, T., Suseno, S. H., Ardina, C. M., & Suhaima, N. R. (2025). Analysis of freshness and formalin content in saltwater fishes in South Lampung. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 28(8), 738–754. <https://doi.org/10.17844/73p0r037>
- Astuti, I., & Tebai, P. (2018). Analisis formalin ikan teri (*Stolephorus* sp.) asin di pasar tradisional Kabupaten Gorontalo. *Gorontalo Fisheries Journal*, 1(1), 43–50. <https://doi.org/10.32662/.v1i1.105>
- Aulia, U., Putri, U. R., Zukiaturrahmah, A., Ramadhan, J., Darwis, & Rezeki, S. (2026). Identification of formalin content in some fresh saltwater fish at X Traditional Market, Payakumbuh. *Buletin Veteriner Udayana*, 18(1), 115–124. <https://doi.org/10.24843/bulvet.2026.v18.i01.p11>

- Badan Pengawas Obat dan Makanan. (2023). *Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 22 Tahun 2023 tentang bahan baku yang dilarang dalam pangan olahan dan bahan yang dilarang digunakan sebagai bahan tambahan pangan*. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/284990/peraturan-bpom-no-22-tahun-2023>
- Bhowmik, S., Begum, M., & Alam, A. K. M. N. (2020). Formaldehyde-associated risk assessment of fish sold in local markets of Bangladesh. *Agricultural Research*, 9, 102–108. <https://doi.org/10.1007/s40003-019-00414-w>
- Carrillo La Rosa, L. L., Morell-Monzó, S., Puig-Pons, V., Pérez-Arjona, I., & Espinosa, V. (2025). Biometric relationships and condition factor of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) grown in concrete ponds with groundwater. *Aquaculture International*, 33, Article 200. <https://doi.org/10.1007/s10499-025-01839-7>
- Chi, Y., Luo, M., & Ding, C. (2025). The role of microbiota in fish spoilage: Biochemical mechanisms and innovative preservation strategies. *Antonie van Leeuwenhoek*, 118, Article 89. <https://doi.org/10.1007/s10482-025-02101-z>
- Dong, H., Gai, Y., Fu, S., & Zhang, D. (2022). Application of biotechnology in specific spoilage organisms of aquatic products. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10, 895283. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.895283>
- Fadila, N., Agustina, S., & Khairunnisa. (2024). Uji kuantitatif formalin pada produk perikanan kering di Nagan Raya. *Jurnal Kelautan dan Perikanan Indonesia*, 4(3), 134–141. <https://jurnal.usk.ac.id/JKPI/article/view/41834>
- Food and Agriculture Organization. (n.d.). *Cold storage: Food loss and waste in fish value chains*. <https://www.fao.org/flw-in-fish-value-chains/value-chain/processing-storage/cold-storage/en/>
- Habib, A., Piantari, E., & Riza, L. S. (2024). Correlation analysis of Open Street Map, demography, and vaccination on the number of Covid-19 cases using multiple linear regression and Pearson correlation product moment. *Journal of Computers for Society*, 5(2), 109–132. <https://doi.org/10.17509/jcs.v5i2.70798>
- Haetami, K., Karlina, L., & Junianto. (2024). Formalin content test in samples of salted fish and fresh fish sold in traditional markets. *PharmaCine: Journal of Pharmacy, Medical and Health Science*, 5(1), 48–54. <https://doi.org/10.35706/pc.v5i1.11339>
- Jinadasa, B. K. K. K., Elliott, C., & Jayasinghe, G. D. T. M. (2022). A review of the presence of formaldehyde in fish and seafood. *Food Control*, 136, 108882. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108882>
- Kang, D. S., Kim, H. S., Jung, J. H., Lee, C. M., Ahn, Y. S., & Seo, Y. R. (2021). Formaldehyde exposure and leukemia risk: A comprehensive review and network-based toxicogenomic approach. *Genes and Environment*, 43, Article 13. <https://doi.org/10.1186/s41021-021-00183-5>
- Kaur, G., Tripathy, S., Rout, S., Mishra, G., Panda, B. K., & Srivastav, P. P. (2024). Formalin adulteration in fish: A state-of-the-art review on its prevalence, detection advancements, and affordable device innovations. *Trends in Food Science & Technology*, 153, 104708. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104708>
- Kohilavani, Wan Abdullah, W. N., Yang, T. A., Sifat, S. A., & Zzaman, W. (2021). Development of Safe Halal Food Management System (SHFMS). *Food Control*, 127, 108137. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108137>

- Kwikiriza, G., Yegon, M. J., Byamugisha, N., Beingana, A., Atukwatse, F., Barekye, A., Natabi, J. K., & Meimberg, H. (2023). Morphometric variations of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) local strains collected from different fish farms in South Western Highland Agro-Ecological Zone (SWHAEZ), Uganda: Screening strains for aquaculture. *Fishes*, 8(4), 217. <https://doi.org/10.3390/fishes8040217>
- Mehta, N. K., Pal, D., Majumdar, R. K., Priyadarshini, M. B., Das, R., Debbarma, G., & Acharya, P. C. (2023). Effect of artificial formaldehyde treatment on textural quality of fish muscles and methods employed for formaldehyde reduction from fish muscles. *Food Chemistry Advances*, 3, 100328. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100328>
- Mehta, N. K., Vaishnav, A., Priyadarshini, M. B., Debbarma, P., Hoque, M. S., Mondal, P., Nor-Khaizura, M. A. R., Bono, G., Koirala, P., Kettawan, A., & Nirmal, N. P. (2024). Formaldehyde contamination in seafood industry: An update on detection methods and legislations. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 54381–54401. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34792-8>
- Meurer, F., Novodvorski, J., & Bombardelli, R. A. (2025). Protein requirements in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) during production and reproduction phases. *Aquaculture and Fisheries*, 10(2), 171–182. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2024.03.004>
- Nie, X., Zhang, R., Cheng, L., Zhu, W., Li, S., & Chen, X. (2022). Mechanisms underlying the deterioration of fish quality after harvest and methods of preservation. *Food Control*, 135, 108805. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108805>
- Parameshwari, D., Velmurugan, B., & Ipek, C. E. (2021). Qualitative detection of formaldehyde and ammonia in fish and other seafoods obtained from Chennai's (India) fish markets. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, Article 78. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-08871-z>
- Putri, A. R., Awidarta, K., Pratita Ihsan, B. R., Khaerunisa, I., Ulum, M. B., & Huda, L. F. (2024). Formaldehyde content in Indonesian food and the analysis method: A review. *Journal of Food and Pharmaceutical Sciences*, 12(1), 28–37. <https://doi.org/10.22146/jfps.10060>
- Rahman, M. B., Hussain, M., Kabiraz, M. P., Nordin, N., Siddiqui, S. A., Bhowmik, S., & Begum, M. (2023). An update on formaldehyde adulteration in food: Sources, detection, mechanisms, and risk assessment. *Food Chemistry*, 427, 136761. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136761>
- Ritonga, I. R., Suryana, I., Papatungan, M. S., & Arwadi, M. T. (2024). Analisis kadar formalin pada ikan dan seafood asin dari pasar tradisional di Kota Samarinda, Indonesia. *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, 13(1), 57–66. <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v13i1.72933>
- Rovita, F. M., & Wulandari, W. (2022). Formalin content in salted fish in traditional market. *Darussalam Nutrition Journal*, 6(2), 115–121. <https://doi.org/10.21111/dnj.v6i2.8266>
- Sari, D. W., Islamiya, H. A. T., Sylviana, W., Fawait, M., Amelia, B. S., Hidayanti, I., & Alias, N. S. (2025). The behavior of fishermen in handling post-harvest fish and its quality in East Java province. *Aquaculture and Fisheries*, 10(6), 1088–1095. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2024.08.003>
- Siddiqui, S. A., Singh, S., Bahmid, N. A., & Sasidharan, A. (2024). Applying innovative technological interventions in the preservation and packaging of fresh seafood products to minimize spoilage: A systematic review and meta-analysis. *Heliyon*, 10(8), e29066.

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29066>

- Simanjuntak, H., & Silalahi, M. V. (2022). Kandungan formalin pada beberapa ikan segar di pasar tradisional Parluasan Kota Pematangsiantar. *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, 11(1), 223–228. <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v11i1.45285>
- Sun, X., Yang, C., Zhang, W., Zheng, J., Ou, J., & Ou, S. (2025). Toxicity of formaldehyde, and its role in the formation of harmful and aromatic compounds during food processing. *Food Chemistry: X*, 25, 102225. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102225>
- Suseno, D. (2021). Validasi metode analisis formalin dan aplikasinya pada ikan asin. *Jurnal Agroindustri Halal*, 7(2), 173–182. <https://ojs.unida.info/Agrohalal/article/view/4076>
- Tibihika, P. D., Curto, M., Meimberg, H., Aruho, C., Muganga, G., Lugumira, J. S., Namulawa, V. T., Aanyu, M., Ddungu, R., Ondhoro, C. C., & Okurut, T. (2023). Exploring the morphological dynamics of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linn. 1758) in Victoria Nile as depicted from geometric morphometrics. *BMC Zoology*, 8, Article 28. <https://doi.org/10.1186/s40850-023-00190-9>
- Utari, S. P. S. D., & Agustin, N. K. T. D. (2024). Identifikasi kandungan formalin pada beberapa ikan segar dan olahannya di Pengambangan, Jembrana, Bali. *Proceedings of The Vocational Seminar on Marine & Inland Fisheries*, 1(1), 113. https://doi.org/10.15578/voc_seminar.v1i1.15357
- Vatria, B. (2021). FAO SSF Guidelines: Pedoman sukarela untuk menjamin keberlanjutan perikanan skala kecil di Indonesia. *Jurnal Vokasi*, 15(2), 88–98. <https://doi.org/10.31573/vokasi.v15i2.174>
- Wihardi, A. M., Giriwono, P. E., & Indrasti, D. (2023). Risiko paparan formaldehida dari beberapa jenis ikan pada masyarakat di Kecamatan Dramaga, Bogor, Jawa Barat. *Jurnal Mutu Pangan: Indonesian Journal of Food Quality*, 10(2), 108–115. <https://doi.org/10.29244/jmpi.2023.10.2.108>
- Yanuari, R., & Diniyah, B. N. (2025). Gambaran kandungan formalin pada ikan asin, mie basah dan tahu pada pasar tradisional Kota Cirebon. *Jurnal Profesi Kesehatan Masyarakat*, 6(2), 51–62. <https://doi.org/10.47575/jpkm.v6i2.781>
- Yulistiani, R., Jariyah, Pratiwi, Y. S., Kumalasari, D., & Ramadhan, A. (2024). Identification of formalin content on jambal roti salted fish at traditional markets, North Surabaya, Indonesia. *NST Proceedings*, 32–39. <https://doi.org/10.11594/nstp.2024.4506>
- Zuo, Y.-N., Zhao, X.-E., Xia, Y., Liu, Z.-A., Sun, J., Zhu, S., & Liu, H. (2023). Ratiometric fluorescence sensing of formaldehyde in food samples based on bifunctional MOF. *Microchimica Acta*, 190, Article 36. <https://doi.org/10.1007/s00604-022-05607-9>