



PEMANFAATAN INSANG IKAN TUNA (*Thunnus* sp.) DAN LEMURU (*Sardinella lemuru*) SEBAGAI BAHAN BAKU PENGOLAHAN KERIPIK

I Gusti Ayu Budiadnyani*, Resti Nurmala Dewi, Fenny Crista Anastasia Panjaitan, Desy Febrianti, Siluh Putu Sri Dia Utari, Anis Khairunnisa, I Made Aditya Nugraha

Politeknik Kelautan dan Perikanan Jembrana
Pengembangan, Kec. Negara, Kabupaten Jembrana, Bali Indonesia 82218

Diterima: 17 Maret 2025/Disetujui: 16 Juni 2025

*Korespondensi: igustiayu678@gmail.com

Cara sitasi (APA Style 7th): Budiadnyani, I. G. A., Dewi, R. N., Panjaitan, F. C. A., Febrianti, D., Utari, S. P. S. D., Khairunnisa, A., & Nugraha, I. M. A. (2025). Pemanfaatan insang ikan tuna (*Thunnus* sp.) dan lemuru (*Sardinella lemuru*) sebagai bahan baku pengolahan keripik. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 28(6), 530-545. <http://dx.doi.org/10.17844/jphpi.v28i6.63268>

Abstrak

Insang merupakan hasil samping perikanan bernilai rendah namun kandungan gizi tinggi dan berpotensi dikembangkan menjadi produk bernilai tambah, yaitu keripik. Mengingat insang berfungsi sebagai penyaring zat kimia (logam berat), maka aspek keamanan pangan menjadi penting. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan membandingkan karakteristik insang ikan tuna dan lemuru dalam kondisi segar dan beku sebagai bahan baku keripik, berdasarkan kandungan proksimat, cemaran logam berat, mikrobiologi, dan tingkat penerimaan konsumen. Penelitian menggunakan empat perlakuan, yakni insang dari tuna segar, tuna beku, lemuru segar, dan lemuru beku (duplo). Analisis proksimat meliputi kadar abu, air, lemak dan protein. Analisis logam berat meliputi Hg, Pb dan Cd. Analisis mikrobiologi terdiri atas TPC, *E. coli*, *Salmonella* sp., dan *V. cholerae*. Tingkat penerimaan konsumen menggunakan uji hedonik dengan parameter ketampakan, aroma, rasa, tekstur, aftertaste dan keseluruhan. Hasil analisis menunjukkan bahwa insang ikan memiliki kadar protein 14,15–17,62%, lemak 1,61–5,79%, air 65,36–69,19%, dan abu 10,81–14,93%. Pengolahan insang menjadi keripik menghasilkan kadar protein 8,04–9,52%, kadar lemak 19,33–26,75%, kadar air 4,12–4,67%, dan kadar abu 4,66–6,19%. Keripik insang lemuru segar mengandung lemak tertinggi (26,75%) dan keripik tuna beku memiliki protein tertinggi (9,52%). Kandungan logam berat pada insang berada di bawah batas maksimum yang ditetapkan SNI 7387:2009, dengan kadar Hg 0,01 ppm, Pb 0,02–0,15 ppm, dan Cd 0,02–0,05 ppm. Kandungan mikrobiologi menunjukkan seluruh keripik insang aman dikonsumsi. Analisis hedonik oleh panelis terlatih menunjukkan keripik insang sangat disukai, dengan skor keseluruhan di atas 8,00 dan keripik insang tuna beku memperoleh skor rasa tertinggi (8,90).

Kata kunci: hasil samping, keamanan pangan, logam berat, mikrob, proksimat

Utilization of Tuna (*Thunnus* sp.) and Bali Sardinella (*Sardinella lemuru*) Fish Gills as Raw Materials for Chips Processing

Abstract

Fish gills are low-value by-products of the fisheries industry; however, they are rich in nutrients and have the potential to be developed into value-added products, such as chips. However, as gills act as filters for chemical substances, including heavy metals, food safety is a critical concern. This study aimed to evaluate and compare the characteristics of tuna and Bali sardinella gills in fresh and frozen conditions as raw materials for chips in terms of proximate composition, heavy metal content, microbiological safety, and consumer acceptance. Four treatments were tested: fresh and frozen gills from both tuna and Bali sardinella (duplicates). Proximate analysis included moisture, ash, fat, and protein; heavy metals analysed were Hg, Pb, and Cd. Microbiological tests included total plate count (TPC), *Escherichia coli*, *Salmonella* sp., and *Vibrio cholerae*. Consumer acceptance was evaluated using a hedonic test based on sensory attributes. Raw

gills contained 14.15–17.62% protein, 1.61–5.79% fat, 65.36–69.19% moisture, and 10.81–14.93% ash. After processing, the protein content decreased to 8.04–9.52%, whereas the fat content increased to 19.33–26.75%. Moisture and ash also declined to 4.12–4.67% and 4.66–6.19%, respectively. Fresh Bali sardinella gill chips had the highest fat content (26.75%), whereas frozen tuna gill chips had the highest protein content (9.52%). Heavy metal levels remained below the limits set by SNI 7387:2009, and all microbiological parameters complied with the food safety standards. Hedonic testing showed high consumer acceptance, with all products scoring above 8.00 overall, and the highest taste score (8.90) was recorded for frozen tuna gill chips.

Keywords: by-products, food safety, heavy metals, microbe, proximate

PENDAHULUAN

Produk hasil samping pengolahan ikan dapat mencapai 15% dari berat ikan saat dikeluarkan isi perutnya dan disisihkan. Angka ini dapat mencapai 70% dalam proses *filleting* (Olsen *et al.*, 2014). Indonesia menghasilkan 8,6 juta ton produk sampingan ikan (tulang, kulit, kepala, jeroan, insang) setiap tahun (Nurhayati & Peranginangin, 2009; Priyosetyoko *et al.*, 2022). Akibatnya, limbah ikan menjadi perhatian global dan mengancam keberlanjutan ekosistem. Produk hasil samping ikan saat ini belum optimal pemanfaatannya (Afifah *et al.*, 2024; Lestari *et al.*, 2024) dan terbatas diolah menjadi pakan ternak atau pupuk, sehingga menghasilkan produk dengan nilai tambah yang kurang baik, atau bahkan dibakar dan dibuang tanpa proses lebih lanjut yang menyebabkan dampak lingkungan yang parah (Mangano *et al.*, 2021). Hal ini menjadi potensi dalam pengembangan produk hasil samping ikan.

Permintaan makanan yang memiliki nilai gizi tinggi saat ini makin meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi yang pesat (Saisavoey *et al.*, 2019; Saliu *et al.*, 2019). Sumber makanan tersebut dapat dipenuhi dari produk hasil samping ikan yang dihasilkan sepanjang siklus penangkapan ikan. Insang ikan adalah salah satu penyumbang yaitu sekitar 2,1% dari berat tubuh ikan tuna dan 1,9% dari berat ikan lemuru yang menjadikan kedua jenis bahan baku ini potensial dimanfaatkan menjadi produk bernilai tambah yaitu keripik (Ghaly *et al.*, 2013; Alsafy *et al.*, 2025).

Insang ikan merupakan jaringan yang berfungsi sebagai organ pernapasan yang vital. Insang menempati 1-3% dari total berat ikan dan masih belum dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk produk yang lebih bernilai (Kandyliari *et al.*, 2020; Martínez-Alvarez *et*

al., 2015). Insang merupakan sumber protein, asam lemak, dan mineral yang bermanfaat secara gizi karena komposisinya mirip dengan filet ikan dan produk makanan lain yang direkomendasikan untuk dimakan (Kandyliari *et al.*, 2020). Kandyliari *et al.* (2020) dan Martínez-Alvarez *et al.* (2015) menjelaskan protein yang terkandung dalam insang berkisar 13-17% yang sebanding dengan kadar protein filet ikan (15-22%). Insang mengandung EPA dan DHA 35-45% dari total lemak (Ayanda *et al.*, 2019). Penelitian lain menambahkan bahwa insang dapat diolah menjadi kerupuk (Jumiati *et al.*, 2021). Kadar protein, lemak, dan karbohidrat pada kerupuk dengan penambahan insang dan daging ikan kurisi (*Nemipterus japonicus*) berbeda secara signifikan dan menghasilkan kandungan gizi yang tinggi (protein 13,55%; lemak 0,53%; dan karbohidrat 75,87%) (Jumiati *et al.*, 2021).

Insang berperan sebagai penukar gas pernapasan dalam tubuh ikan. Insang melakukan transfer ion dan udara, penyaringan makanan, ekskresi amonia-nitrogen, osmoregulasi, pengaturan pH, dan pembentukan hormon (Evans & Nunez, 2015; Foyle *et al.*, 2020). Insang sangat penting dalam mengeluarkan senyawa metabolik yang berlebih dan beracun, dan membantu drainase makanan. Udara yang melewati insang akan mengekspos organ tersebut terhadap senyawa kimia dan biologi yang berpotensi berbahaya, yang mengakibatkan perubahan morfologi dan gangguan fungsi organ (Strzyzewska *et al.*, 2016).

Kapasitas akumulasi logam berat pada insang, usus, dan hati ikan lebih besar daripada pada otot ikan (Uysal, 2011). Insang, hati, dan usus ikan memiliki aktivitas metabolik yang tinggi dan berfungsi langsung dalam pertukaran zat serta detoksifikasi, sehingga lebih rentan mengakumulasi logam



berat dibandingkan otot. Insang terpapar langsung oleh air melalui permukaannya yang luas, sementara hati dan usus berperan dalam menyerap dan menyimpan senyawa beracun dari pakan maupun lingkungan. Sebaliknya, otot atau daging ikan jarang terakumulasi logam berat dalam jumlah signifikan karena bukan merupakan organ detoksifikasi utama (Mozzon *et al.*, 2024; Uysal, 2011). Penelitian tentang keamanan mutu produk berbasis insang penting untuk dilakukan, agar terhindar dari masalah kesehatan setelah mengonsumsi produk tersebut.

Pemanfaatan insang ikan tuna (*Thunnus* sp.) dan lemuru (*Sardinella lemuru*) sebagai bahan baku keripik berpotensi karena ikan tersebut sebagian besar dipanen di Indonesia dan masing-masing menghasilkan 271.000 ton (tuna) dan 27.748 ton (lemuru) limbah ikan (Adharani *et al.*, 2017; Umar *et al.*, 2022). Kajian terhadap kondisi biologi, histopatologi dan organoleptik insang *Thunnus* sp. dan *Sardinella lemuru* yang diambil dari pasar Kedonganan aman untuk dijadikan bahan baku keripik insang (Budiadnyani *et al.*, 2024). Namun demikian, karena insang lama dianggap sebagai organ penyaring limbah yang rentan terhadap kontaminasi logam berat namun masih mengandung nutrisi yang cukup tinggi, maka analisis logam berat dan proksimat dilakukan untuk memeriksa kualitas bahan baku. Kandungan gizi, mikrob dan penerimaan konsumen terhadap produk berbasis insang juga dikaji, karena penelitian tersebut belum dilaporkan. Kondisi bahan baku insang merupakan salah satu faktor yang perlu diamati agar hasilnya relevan dengan keadaan di lapangan yang membuktikan bahan baku dapat berada dalam kondisi baik yaitu beku atau segar. Pemilihan kondisi bahan baku segar dan beku didasarkan pada kenyataan bahwa insang ikan tersedia dalam dua bentuk umum tersebut di lapangan, baik di pasar tradisional maupun industri. Perbedaan kondisi ini dapat memengaruhi kualitas nutrisi, keamanan, dan karakteristik produk akhir. Penelitian ini bertujuan membandingkan karakteristik insang ikan tuna dan lemuru dalam kondisi segar dan beku sebagai bahan baku keripik secara kimiawi, mikrobiologi, dan sensori.

BAHAN DAN METODE

Proses Pembuatan Keripik Insang

Insang ikan yang digunakan dalam penelitian ini yakni insang ikan tuna dan lemuru diperoleh dari pasar Kedonganan, Denpasar. Insang yang digunakan dalam kondisi segar dan beku, sehingga diperoleh empat (4) varian produk yang akan diujikan yakni keripik insang tuna segar, keripik insang tuna beku, keripik insang lemuru segar, dan keripik insang lemuru beku. Kondisi segar yang dimaksud ialah insang yang hanya diberi perlakuan pendinginan menggunakan es (SNI 2729:2021). Kondisi beku adalah insang yang dibekukan segera setelah proses penyiangan dan pencucian awal, tanpa perlakuan pendahuluan lainnya.

Proses pembekuan dilakukan dalam freezer (*tipe chest freezer*) bersuhu -20°C . Insang disimpan dalam kantong plastik *food grade* yang telah diberi label identitas dan diratakan untuk mempercepat proses pembekuan. Masing-masing insang disusun dalam satu lapisan (*single layer*) untuk menghindari pembekuan tidak merata. Waktu penyimpanan beku berlangsung selama 7 hari sebelum digunakan dalam proses pembuatan keripik. Lama waktu pembekuan ini dipilih untuk mensimulasikan kondisi distribusi bahan baku hasil perikanan yang umum terjadi di pasar dan industri kecil, serta memungkinkan terjadinya perubahan fisikokimiawi yang dapat diukur.

Insang tuna dan lemuru (segar maupun beku) dicuci menggunakan air mengalir untuk menghilangkan darah dan kotoran lainnya. Insang beku dilakukan proses *thawing* terlebih dahulu menggunakan metode *water thawing*, dengan cara merendam insang beku dalam air dengan suhu $\pm 27^{\circ}\text{C}$ selama 90 menit (Kamila & Sarastani, 2025). Proses selanjutnya ialah tahapan penghilangan aroma amis. Insang direndam dalam larutan jeruk nipis dengan konsentrasi 5% selama 30 menit. Insang dicuci kembali sebelum diolah menjadi keripik insang (Safitri *et al.*, 2019).

Proses selanjutnya ialah proses penepungan yang mengacu pada prosedur penelitian Safitri *et al.* (2019). Jenis tepung yang digunakan ialah tepung terigu dan maizena dengan perbandingan 1:1 (b/b).

Komposisi bumbu yang ditambahkan dalam adonan tepung adalah garam (8%), bawang putih (4%), *monosodium glutamat* (3%), kunyit (1%), dan irisan daun jeruk nipis (1%). Insang dicampurkan dalam adonan secara merata sebelum digoreng dalam minyak goreng bersuhu 180°C selama 4 menit dengan metode *deep frying* (15 insang untuk 2,5 L minyak) dengan dua kali ulangan penggorengan (suhu dan waktu yang sama). Minyak goreng diganti setelah empat (4) kali penggorengan (Habarakada *et al.*, 2021). Insang yang telah digoreng dihilangkan minyaknya menggunakan *spinner* selama satu (1) menit kemudian hasilnya dianalisis lebih lanjut.

Analisis Mutu Kimia

Sampel insang tuna dan lemuru dalam kondisi beku dan segar dilakukan pengujian mutu kimia yang meliputi kadar air, abu, protein kasar, lemak, dan logam berat. Prosedur pengujian kadar air mengacu pada SNI 2354.2:2015 tentang penentuan kadar air pada produk perikanan menggunakan metode gravimetri. Prosedur pengujian kadar abu mengacu pada SNI 2354.1:2010 tentang cara uji kimia pada bagian 1: penentuan kadar abu dan abu tak larut dalam asam pada produk perikanan dengan metode gravimetri. Prosedur pengujian protein kasar mengacu pada SNI 01-2354.4-2006 tentang cara uji kimia di bagian 4: penentuan kadar protein dengan metode total nitrogen pada produk Perikanan. Pengujian kadar lemak mengacu pada SNI 2354-3:2017 tentang Cara uji kimia di bagian 3: penentuan kadar lemak total pada produk perikanan, dan analisis logam berat timbal (Pb), dan kadmium (Cd) mengacu pada SNI 2354.5:2011 tentang Cara uji kimia di bagian 5: penentuan kadar logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada produk perikanan, sementara analisis logam berat merkuri (Hg) mengacu pada prosedur SNI 2354.6:2016 tentang cara uji kimia di bagian 6: penentuan kadar logam berat merkuri (Hg) pada produk perikanan.

Analisis Mikrobiologi

Penilaian mikrobiologi dilakukan pada produk makanan ringan menggunakan

metode Standar Nasional Indonesia, yaitu jumlah lempeng total (SNI 2332.3:2015 tentang cara uji mikrobiologi – bagian 3: penentuan angka lempeng total (ALT) pada produk perikanan), *Escherichia coli* (SNI 2332.1:2015 tentang cara uji mikrobiologi – bagian 1: penentuan koliform dan *Escherichia coli* pada produk perikanan), *Salmonella* sp. (SNI 01-2332.2-2006 tentang cara uji mikrobiologi – bagian 2: penentuan *Salmonella* pada produk perikanan), dan *Vibrio cholerae* (SNI 01-2332.4-2006 tentang cara uji mikrobiologi – bagian 4: penentuan *Vibrio cholerae* pada produk perikanan). Sampel yang digunakan ialah sampel keripik insang tuna dan lemuru (dari bahan baku dalam kondisi beku dan segar) yang telah disimpan pada suhu ruang (20-30°C) selama tujuh hari. Sampel (25 g) disiapkan dengan cara dihaluskan secara merata dan dihomogenkan dengan BFP (225 mL) menggunakan *stomacher*.

Uji Hedonik

Uji hedonik dilakukan berdasarkan SNI-01-2346-2018 dengan 10 panelis terlatih yang berasal dari tim produksi dan karyawan pengembangan produk keripik insang. Panelis tersebut telah melalui tahap seleksi pengujian ambang batas deteksi empat (4) rasa dan telah mengenal mutu sensori keripik insang dengan baik. Panelis diberikan sampel masing-masing satu buah keripik insang, satu gelas air mineral 240 mL sebagai pembilas, dan satu iris apel hijau segar sebagai penetral. Pengujian sensori menggunakan metode pemeringkatan hedonik yang terdiri atas 9 skala hedonik yaitu 1 (sangat tidak suka) hingga 9 (sangat suka). Panelis diminta untuk menilai ketampakan, bau, rasa, dan tekstur (Badan Standardisasi Nasional [BSN], 2018).

Analisis Data

Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan empat perlakuan yakni bahan baku/keripik insang dari tuna segar, tunabeku, lemuru segar, dan lemuru beku, dengan 2 kali ulangan. Data hasil pengujian mutu kimia, mikrobiologi, dan sensori yang diperoleh dianalisis menggunakan analisis varians (ANOVA) pada tingkat kepercayaan 95% untuk menguji pengaruh masing-masing



faktor dan apabila hasilnya menunjukkan signifikansi dilanjutkan Uji Duncan untuk mengetahui beda nyata perlakuan. Hasil penelitian dinyatakan sebagai *mean* $\pm$ standar deviasi (SD).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proksimat Insang Ikan Tuna dan Lemuru

Analisis proksimat dilakukan terhadap insang ikan tuna segar (*fresh tuna gills*), insang ikan tuna beku (*frozen tuna gills*), insang ikan lemuru segar (*fresh lemuru gills*), dan insang ikan lemuru beku (*frozen lemuru gills*) dengan parameter berupa kadar abu, lemak, protein dan air. Hasil analisis proksimat terhadap insang dapat dilihat pada *Table 1*. Hasil analisis proksimat menunjukkan adanya variasi yang sangat signifikan pada kadar abu, lemak, air, dan protein pada insang ikan tuna segar dan beku serta insang ikan lemuru segar dan beku ($p < 0,05$).

Kadar abu

Hasil penelitian menunjukkan bahwa insang ikan tuna beku memiliki kadar abu tertinggi, yaitu $14,93 \pm 0,04\%$, diikuti oleh insang lemuru beku ($11,42 \pm 0,08\%$), insang lemuru segar ($11,13 \pm 0,06\%$) dan insang tuna segar ($10,81 \pm 0,07\%$). Wikanta *et al.* (2017) menyatakan bahwa kadar abu pada organ insang memiliki persentase yang paling tinggi dibanding organ lain.

Kadar abu menunjukkan senyawa anorganik atau mineral yang terdapat insang tersebut. Tinggi rendahnya kadar abu dipengaruhi oleh kemampuan regulasi dan absorpsi logam dari organ tersebut (Winarno,

2008). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada jenis ikan yang sama, adanya perlakuan pembekuan pada insang menyebabkan persentase kadar abu yang lebih tinggi dibanding insang segar. Pembekuan menyebabkan hilangnya air dari sel sehingga mampu meningkatkan konsentrasi mineral yang menyebabkan persentase kadar abu menjadi meningkat saat dilakukan analisis (Shamsan *et al.*, 2019).

Kadar air

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan jenis dan kondisi ikan memberikan pengaruh nyata terhadap kadar air insang ikan tuna dan lemuru. Insang memiliki kandungan air yang tinggi, yaitu $65-69\%$ ($p < 0,05$). Insang merupakan organ yang berhubungan langsung dengan air dan tersusun atas sepasang filamen insang yang masing-masing tersusun atas serabut melintang yang dilapisi oleh epitel tipis yang disebut lamela (Sweidan *et al.*, 2015). Insang ikan memiliki daging yang tebal dan besar, sehingga memiliki kemampuan untuk menyerap kandungan air yang tinggi dibandingkan dengan tulang dan kulit yang hanya sebesar $51,60-62,37\%$ (Franco *et al.*, 2020). Kadar air yang tinggi pada insang ikan juga ditemukan berkisar antara $62-74\%$ tergantung pada habitat ikan (ikan kerapu dan ikan air tawar) (Kandyliari *et al.*, 2020).

Kadar lemak

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan jenis dan kondisi ikan memberikan pengaruh nyata terhadap kadar lemak insang ikan tuna dan lemuru. Konsentrasi lemak tertinggi ditemukan pada insang ikan lemuru

Table 1 Proximate of raw gills of tuna and Bali sardinella

Tabel 1 Proksimat insang ikan tuna dan lemuru

Gills sample	Proxymates content (%)			
	Ash	Moisture	Fat	Protein
Fresh tuna	10.81 ± 0.07^a	69.19 ± 0.02^d	1.61 ± 0.01^a	15.57 ± 0.06^b
Frozen tuna	14.93 ± 0.04^d	66.90 ± 0.06^b	2.46 ± 0.01^b	17.61 ± 0.02^d
Fresh Bali sardinella	11.13 ± 0.06^b	68.00 ± 0.04^c	3.22 ± 0.02^c	14.15 ± 0.06^a
Frozen Bali sardinella	11.42 ± 0.08^c	65.36 ± 0.06^a	5.79 ± 0.07^d	15.85 ± 0.04^c

Different superscript letters in the same column indicate a significant difference

beku, yaitu 5,79%. Ikan lemuru merupakan sumber minyak ikan yang menonjol karena memiliki kandungan asam lemak omega-3 PUFA bioaktif yang tinggi, termasuk EPA dan DHA, yang mencakup sekitar 20-60% dari berat ikan (Benyahia-Mostefaoui *et al.*, 2014). Insang ikan lemuru beku dalam penelitian ini, menghasilkan kadar lemak yang lebih tinggi (5,79%) dibandingkan insang ikan lemuru segar (3,22%). Suhu beku dalam penyimpanan insang terbukti menjaga kandungan lipid tetap stabil (Fan *et al.*, 2022).

Hal ini juga terjadi pada insang tuna, dengan konsentrasi lipid insang ikan tuna beku (2,46%) jauh lebih tinggi daripada pada insang insang ikan tuna segar (1,61%). Kandungan lipid terurai menjadi berbagai produk oksidasi sekunder pada suhu yang lebih tinggi, termasuk aldehida, keton, alkohol, hidrokarbon, asam organik yang mudah menguap, dan epoksida (Mozzon *et al.*, 2024; Wang *et al.*, 2023). Akibatnya, kandungan lipid dalam insang cenderung menguap, sehingga mengakibatkan penurunan volume lipid. Meskipun insang dari ikan segar memiliki risiko degradasi lipid yang lebih kecil, terutama jika masih dalam kondisi baik dan tidak membusuk, penurunan kandungan lipid tetap dapat terjadi akibat proses pengolahan termal misalnya penggorengan, yang memicu penguapan dan oksidasi sebagian senyawa lemak. Dalam insang, keberadaan mineral seperti besi (Fe) dan tembaga (Cu) yang berasal dari darah atau jaringan pembuluh kapiler dapat bertindak sebagai prooksidan, mempercepat reaksi oksidasi lipid meskipun pada kadar awal lemak yang rendah (Wang *et al.*, 2023).

Total lipid yang diekstraksi dari ikan beku lebih besar daripada ikan segar; hal ini disebabkan karena pembentukan kristal es selama proses pembekuan menyebabkan kerusakan struktur sel, sehingga saat dilakukan ekstraksi menggunakan metode Soxhlet, lipid menjadi lebih mudah dilepaskan dari jaringan karena struktur mikro yang lebih terbuka. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa kadar lipid pada salmon beku (27,23%) lebih tinggi dibandingkan salmon segar (24,99%) (Aydin & Gokoglu, 2014; Dawson *et al.*, 2018).

Namun demikian, proses *thawing* berisiko menyebabkan sebagian lipid terekstraksi keluar bersama cairan eksudat sebelum proses analisis, yang secara teori justru dapat menurunkan kadar lemak terukur jika tidak segera ditangani. Oleh karena itu, perbedaan kadar lipid antara perlakuan segar dan beku kemungkinan merupakan hasil gabungan antara kerusakan jaringan akibat pembekuan dan efisiensi pelepasan lipid saat ekstraksi, bukan semata karena degradasi atau volatilisasi lipid selama penyimpanan.

Kadar protein

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan jenis dan kondisi ikan memberikan pengaruh nyata terhadap kadar protein insang ikan tuna dan lemuru. Kadar protein insang ikan beku ditemukan tinggi, yaitu 17,62% (tuna) dan 15,86% (lemuru) ($p < 0,05$). Sementara itu, kadar protein pada insang segar hanya mencapai 15,57% (tuna) dan 14,15% (lemuru) ($p < 0,05$). Shamsan *et al.* (2019) menjelaskan bahwa ikan segar mengandung protein yang lebih tinggi dibandingkan ikan yang dibekukan dengan kondisi yang stabil (*stable freezing*), karena proses pembekuan mampu mendenaturasi protein. Fenomena meningkatnya kadar protein pada insang beku dibanding insang segar disebabkan proses *water thawing* sebelum pengujian. *Water thawing* menyebabkan lebih banyak melarutkan protein insang (protein terbuang), sementara protein masih terkonsentrasi dalam kondisi insang beku. Data kandungan gizi menunjukkan bahwa kadar protein fillet ikan tuna berkisar antara 22,5–24,8%, sedangkan ikan lemuru (*Sardinella lemuru*) memiliki kadar protein sekitar 17,6–19,2% (Gökoglu & Yerlikaya, 2015; Singapurwa *et al.*, 2022). Perbedaan ini mendukung temuan bahwa bahan baku insang tuna memiliki kadar protein lebih tinggi dibandingkan lemuru, karena komposisi jaringan fungsional dan metabolisme otot yang berbeda.

Protein insang pada kondisi beku, cenderung menghasilkan rendemen yang lebih tinggi. Sementara itu, selisih kadar protein turun 1-3% pada insang segar, yang disebabkan karena kerusakan mikrostruktur jaringan akibat pembentukan kristal es



selama pembekuan, yang menyebabkan protein menjadi lebih mudah terekstraksi selama proses analisis. Meskipun terjadi perubahan struktur fisik protein akibat fluktuasi suhu, hal tersebut tidak secara langsung menurunkan kadar protein total yang diukur dengan metode Kjeldahl, karena metode ini didasarkan pada pengukuran total nitrogen, bukan bentuk struktural protein (AOAC International, 2016). Sesuai dengan penelitian sebelumnya, bahwa kadar protein fillet ikan tuna (*Thunnus* sp.) tercatat berkisar antara 22,5–24,8%, sedangkan pada ikan lemuru (*Sardinella lemuru*) berkisar antara 17,6–19,2% (Gökoğlu & Yerlikaya, 2015; Singapurwa *et al.*, 2022). Sementara itu, insang ikan kurisi (*Nemipterus japonicus*) memiliki kandungan protein sebesar 15,6% (Jumiaty *et al.*, 2021), nilai ini sebanding dengan insang ikan pelagis lainnya seperti tuna dan lemuru yang memiliki konsentrasi protein relatif lebih rendah dibandingkan fillet karena terdiri atas jaringan pembuluh darah dan jaringan penunjang lainnya, bukan otot dominan.

Logam Berat Insang Ikan Tuna dan Lemuru

Analisis logam berat dilakukan terhadap insang ikan tuna segar (*fresh tuna gills*), insang ikan tuna beku (*frozen tuna gills*), insang ikan lemuru segar (*fresh lemuru gills*), dan insang ikan lemuru beku (*frozen lemuru gills*) dengan parameter berupa kadar Mercury (Hg), Lead (Pb) dan Cadmium (Cd). Hasil analisis logam berat insang ikan tuna dan lemuru dapat dilihat pada *Table 2*.

Berdasarkan *Table 2*, konsentrasi logam berat pada insang ikan tuna dan lemuru mentah masih di bawah kriteria batas

cemaran logam dalam pangan SNI 7387:2009 dan BPOM No.9 Tahun 2022 yaitu 0,5 ppm (Hg), 0,4 ppm (Pb) dan 0,2 ppm (Cd) (Badan Pengawas Obat dan Makanan, 2022; BSN, 2009). Hal ini menunjukkan bahwa kualitas insang layak untuk diolah lebih lanjut menjadi keripik insang. Konsentrasi merkuri pada semua sampel sekitar 0,01 ppm. Perbedaan secara statistik antara insang ikan tuna dan lemuru ($p < 0,05$). Sebaliknya, konsentrasi merkuri pada insang lemuru tidak berbeda secara substansial ($p > 0,05$). Sementara itu, konsentrasi timbal pada insang ikan tuna dan lemuru bervariasi, dengan konsentrasi maksimum 0,15 ppm pada insang lemuru beku dan 0,14 ppm pada insang lemuru segar. Insang ikan tuna hanya mengandung sekitar 0,02 ppm timbal pada insang beku dan 0,03 ppm untuk insang segar. Kondisi bahan baku (segar dan beku) tidak mempengaruhi konsentrasi timbal secara signifikan, oleh karena itu, hasil yang signifikan hanya ditunjukkan antara jenis insang ikan yaitu tuna dan lemuru. Perbedaan hasil yang signifikan hanya terjadi karena perbedaan jenis ikan ($p < 0,05$) yaitu 0,02 ppm dan 0,05 ppm.

Hasil ini menunjukkan bahwa kandungan logam berat dalam insang ikan tidak dipengaruhi oleh kondisi bahan baku (segar atau beku), melainkan oleh air, asal negara, waktu penangkapan, dan berat ikan itu sendiri (Faciú *et al.*, 2014; Simionov *et al.*, 2016). Kandungan logam berat pada insang ikan tuna dan ikan lemuru di Pasar Kedonganan, Denpasar, Bali, menunjukkan bahwa logam berat masih berada di bawah batas aman cemaran logam berat pada bahan pangan. Faktor penentu kualitas konsentrasi logam berat pada tubuh ikan lebih dipengaruhi

Table 2 Heavy metal concentrations in raw gills of tuna and Bali sardinella

Tabel 2 Konsentrasi logam berat pada insang ikan tuna dan lemuru

Gills sample	Heavy metal content (ppm)		
	Lead (Pb)	Cadmium (Cd)	Mercury (Hg)
Fresh tuna	0.03±0.01 ^a	0.05±0.00 ^b	0.01±0.00 ^a
Frozen tuna	0.02±0.01 ^a	0.05±0.00 ^b	0.01±0.00 ^a
Fresh Bali sardinella	0.14±0.01 ^b	0.02±0.00 ^a	0.01±0.00 ^a
Frozen Bali sardinella	0.15±0.01 ^b	0.02±0.00 ^a	0.01±0.00 ^a

Different superscript letters in the same column indicate a significant difference

oleh perairan dan daerah penangkapan. Daerah perairan yang tidak termasuk daerah pemukiman, kegiatan transportasi laut, dan industri akan menghasilkan ikan dengan kualitas yang lebih baik (Ali *et al.*, 2016).

Proksimat Keripik Insang Ikan Tuna dan Lemuru

Analisis proksimat dilakukan terhadap produk keripik insang ikan tuna segar (*fresh tuna gills chips*); insang ikan tuna beku (*frozen tuna gills chips*); insang ikan lemuru segar (*fresh lemuru gills chips*); dan insang ikan lemuru beku (*fresh lemuru gills chips*) dengan parameter berupa kadar abu, lemak, protein dan air. Hasil analisis proksimat keripik insang dapat dilihat pada *Table 3*.

Kadar abu

Perbedaan perlakuan tidak memengaruhi ($p>0,05$) kadar abu keripik insang tuna namun memengaruhi kadar abu keripik insang lemuru. Berdasarkan *Table 3*, kadar abu pada keripik insang menunjukkan pola yang sama dengan kadar abu bahan baku, dengan kadar abu maksimum diperoleh pada keripik insang tuna beku (6,19%) dan keripik insang tuna segar (6,1%), sedangkan kadar abu pada keripik insang lemuru beku (4,78%) dan keripik insang lemuru segar (4,66%) berada pada konsentrasi yang lebih rendah. Menurut SNI 7762:2013, nilai maksimum kadar abu pada keripik ikan adalah 5,0%, yang berarti kadar abu pada insang ikan tuna tidak memenuhi standar, sedangkan pada keripik insang dengan insang lemuru memenuhi SNI.

Kadar abu pada keripik insang dapat dipengaruhi oleh kandungan zat tambahan misalnya garam dapur dan penyedap rasa yang

terdiri dari garam anorganik seperti natrium, kalium, karbonat, dan fosfat. Hasil penelitian lainnya juga mengamati bahwa kadar abu menunjukkan kandungan mineral yang sudah ada atau ditambahkan pada produk (Maulidiyanti *et al.*, 2021). Namun, kadar abu pada keripik insang berkurang 2-3 kali lipat karena interaksi antar unsur. Pemanasan atau suhu tinggi dalam proses penggorengan juga dapat diperhitungkan dalam mengurangi kadar abu pada ikan. Selain itu, air digunakan sebagai media selama pencucian, misalnya dalam proses pengadonan, yang dapat mengurangi kadar abu pada produk. Kadar abu mencerminkan total mineral anorganik dalam bahan, dan sebagian mineral tersebut bersifat larut air. Air bertindak sebagai pelarut saat proses pencucian atau pengadonan, yang dapat menarik keluar mineral-mineral ini dari jaringan ikan. Akibatnya, terjadi penurunan kandungan abu karena hilangnya fraksi mineral larut selama proses tersebut (Zhang *et al.*, 2022). Selain itu, Serradell *et al.* (2022) mendukung hal ini dengan menyatakan bahwa air dapat melarutkan banyak bahan, salah satunya adalah mineral.

Kadar air

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan jenis dan kondisi ikan berpengaruh nyata ($p<0,05$) terhadap kadar air keripik ikan tuna dan lemuru. Kadar air keseluruhan keripik insang berkisar kurang lebih 4%. Proses penggorengan dan pengeringan memicu terjadinya perpindahan massa dari insang ke lingkungan, sehingga kadar air produk berkurang hingga 60-63%. Sifat fisikokimia keripik menunjukkan bahwa kadar air digantikan oleh penyerapan minyak,

Table 3 Nutritional content of tuna and Bali sardinella
Tabel 3 Kandungan gizi dalam keripik insang ikan tuna dan lemuru

Gill chips sample	Proxymates content (%)			
	Ash	Moisture	Fat	Protein
Fresh tuna	6.10±0.08 ^b	4.67±0.03 ^d	20.63±0.07 ^b	9.18±0.04 ^b
Frozen tuna	6.19±0.00 ^b	4.12±0.01 ^a	19.33±0.12 ^a	9.52±0.04 ^d
Fresh Bali sardinella	4.66±0.05 ^a	4.55±0.04 ^c	26.75±0.06 ^d	8.04±0.07 ^a
Frozen Bali sardinella	4.79±0.02 ^a	4.31±0.06 ^b	24.42±0.05 ^c	8.53±0.03 ^c

Different superscript letters in the same column indicate a significant difference



kadar amilosa, dan amilopektin. Namun demikian, penurunan kadar air tersebut belum memenuhi syarat mutu kerupuk ikan SNI 7762:2013, yaitu nilai kadar air maksimum sebesar 4%. Persiapan bahan baku, durasi penggorengan, dan pengeringan semuanya harus disesuaikan untuk mengurangi kadar air secara signifikan karena kandungan air yang tinggi dalam produk, kuman dapat dengan mudah tumbuh pada serpihan insang, mengurangi kerenyahan dan masa simpan produk (Al-Jumayi & Darwish, 2021; Su *et al.*, 2018).

Kadar lemak

Berdasarkan hasil analisis kadar lemak pada keripik insang (Tabel 3), diketahui bahwa keripik insang ikan lemuru segar dan beku menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$), dengan kadar lemak masing-masing sebesar 26,75% dan 24,45%. Hal ini menunjukkan bahwa bentuk bahan baku (segar dan beku) berpengaruh nyata terhadap kadar lemak keripik insang lemuru. Sementara itu, pada keripik insang ikan tuna, kadar lemak antara bahan segar (20,63%) dan beku (19,33%) tidak berbeda nyata ($> 0,05$), yang mengindikasikan bahwa perlakuan pembekuan tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kadar lemak produk. Secara umum, kadar lemak tertinggi diperoleh pada keripik insang ikan lemuru segar, yaitu sebesar 26,75%.

Menurut SNI 7762:2013, nilai kadar lemak maksimum untuk kerupuk ikan adalah 35,0%. Hal ini menunjukkan bahwa kadar lemak keripik insang telah memenuhi ketentuan SNI. Kecenderungan pengamatan produk menunjukkan pola yang sama yaitu baik insang maupun produk berbahan dasar insang dari ikan lemuru menunjukkan kadar lemak paling tinggi dibandingkan dengan ikan tuna. Namun demikian, pengaruh kondisi bahan baku terhadap produk berbanding terbalik dengan analisis lemak bahan baku. Keripik insang yang dibuat dari insang segar menghasilkan lebih banyak kandungan lemak daripada yang dibuat dari bahan baku beku. Kapasitas penyerapan lemak dari insang segar dan beku mungkin bertanggung jawab atas fenomena ini. Hallier *et al.* (2008) menyatakan

bahwa pencairan menghasilkan produk yang kurang berwarna yang disebabkan oleh perubahan karakteristik optik otot yang dihasilkan oleh denaturasi protein otot dan pengurangan lemak (Hallier *et al.*, 2008). Kandungan lemak semua produk meningkat karena adanya bahan tambahan seperti tepung dan minyak dalam proses pengolahan. Proses penggorengan menyebabkan air menguap dan kemudian digantikan oleh minyak goreng yang digunakan, menyebabkan kandungan lemak meningkat secara signifikan (Bija *et al.*, 2022).

Kadar protein

Kandungan protein keripik insang lebih rendah (Table 3) jika dibandingkan dengan kandungan protein bahan baku insang (Table 1) ($p < 0,05$) kecuali untuk keripik insang ikan lemuru ($p > 0,05$). Proses penggorengan (pemanasan suhu tinggi) menggunakan metode *deep frying* menyebabkan penurunan kuantitas asam amino karena terjadi interaksi gugus amino dengan senyawa karbonil (Bordin *et al.*, 2013). Keripik insang ikan tuna beku memiliki kadar protein tertinggi (9,46%), diikuti oleh keripik insang ikan tuna segar (9,19%), keripik insang ikan lemuru beku (8,54%), dan keripik insang ikan lemuru segar (8,04%). Hal ini menunjukkan bahwa insang ikan tuna dan ikan lemuru layak digunakan sebagai bahan baku pembuatan camilan insang karena kandungan proteinnya sesuai standar (SNI 7762:2013) untuk keripik ikan yaitu minimum 7%. Hal serupa juga dilaporkan bahwa kandungan protein pada kerupuk insang ikan mengalami penurunan dari 15,6% menjadi 13,55% (Jumiati *et al.*, 2021).

Mutu Mikrobiologi Keripik Insang Ikan Tuna dan Lemuru

Kualitas produk keripik insang sebagai produk siap saji (*ready to eat*) harus dipantau secara mikrobiologi. Keripik insang dari tuna dan lemuru disimpan dalam kemasan *zip* selama tujuh hari pada suhu kamar. *Total plate count*, *Salmonella sp.*, *Escherichia coli*, dan *Vibrio cholera* diamati setelah tujuh hari penyimpanan, seperti yang tercantum dalam Table 4. Hasil penelitian menunjukkan

Table 4 Microbiological quality values of gill chips in tuna and Bali sardinella (after 7 days of storage)
Tabel 4 Nilai mutu mikrobiologi keripik insang pada ikan tuna dan lemuru (setelah penyimpanan selama 7 hari)

Gill chips sample	Total plate count (log CFU/g) *	<i>Salmonella</i> sp.		<i>Escherichia coli</i> (MPN/g)	<i>Vibrio cholerae</i>
		HE media	XLD media		
Fresh tuna	3.48±0.04 ^a	Negative/25 g	Negative/25 g	< 3	Negative/25 g
Frozen tuna	3.50±0.01 ^a	Negative/25 g	Negative/25 g	< 3	Negative/25 g
Fresh Bali sardinella	3.44±0.04 ^a	Negative/25 g	Negative/25 g	< 3	Negative/25 g
Frozen Bali sardinella	3.43±0.03 ^a	Negative/25 g	Negative/25 g	< 3	Negative/25 g
Indonesia National Standard (SNI 7762:2013)	Max. 3.70	Negative/25 g	Negative/25 g	< 3	Negative/25 g

Similar letters in the same row indicate non-significant differences ($p>0.05$) between samples

bahwa semua sampel keripik memenuhi batas Standar Nasional Indonesia (SNI 7762:2013) untuk keripik ikan.

Penentuan mikrob menggunakan metode angka lempeng total tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan antar sampel, yang berada di bawah batas maksimum untuk kualitas mikroba pangan, yaitu maks. 3,70 Log CFU/g. Selanjutnya, analisis *Salmonella* sp., *Escherichia coli*, dan *Vibrio cholerae* menunjukkan hasil negatif. Hasil negatif juga ditemukan pada media LTB untuk *E. coli* dengan kaldu bening dan tidak ada gas pada setiap pengenceran serial (10^1 , 10^2 dan 10^3) dalam tiga tabung. Selain itu, *V. cholerae* sebagai salah satu jenis bakteri patogen tidak terdeteksi selama analisis dan dinyatakan dalam hasil negatif.

Berdasarkan hasil tersebut, keripik insang dapat dikonsumsi dengan aman setelah tujuh hari penyimpanan. Proses pemasakan dan bahan pengemasan berkontribusi terhadap keberadaan mikroorganisme selama penyimpanan. Selain itu, menggoreng pada suhu tinggi dapat membunuh sebagian besar bakteri dan spora. Seperti yang dilaporkan sebelumnya, *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella*, dan jumlah spora tidak teridentifikasi dalam potongan ikan Catla yang dilapisi tepung dan tepung roti selama periode penyimpanan 18 hari (Pawar *et al.*, 2020).

Hedonik Keripik Insang Ikan Tuna dan Lemuru

Tingkat kesukaan konsumen terhadap keripik insang ikan goreng dari tuna dan lemuru dievaluasi berdasarkan daya terima ketampakan, bau, rasa, tekstur, *aftertaste* dan keseluruhan: (Table 5). Panelis menyukai rasa keripik insang tuna beku dengan nilai respons $8,90\pm0,32$, yang memiliki rasa lebih enak daripada keripik insang lemuru dengan nilai respons $8,30\pm1,15$ (keripik insang lemuru segar) dan $8,30\pm1,34$ (keripik insang lemuru beku). Keripik insang lemuru diberi nilai respons lebih rendah dari segi tekstur ($7,60\pm1,10$ untuk keripik insang lemuru segar dan $7,60\pm0,70$ untuk keripik insang lemuru beku) daripada keripik insang tuna ($8,60\pm0,84$ untuk keripik insang tuna segar dan $8,60\pm0,84$ untuk keripik insang tuna beku).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan jenis ikan berpengaruh terhadap parameter tekstur keripik insang. Kandungan lemak bahan insang dapat memengaruhi tekstur akhir produk keripik insang. Ikan lemuru memiliki kandungan lemak lebih tinggi daripada tuna. Hasil serupa juga ditemukan untuk camilan goreng berbahan dasar daging ikan merah dengan kandungan protein yang memengaruhi tekstur produk (Nawaz *et al.*, 2019). Perbedaan tidak ditemukan berdasarkan parameter ketampakan dan aroma antara keripik insang tuna dan lemuru.



Table 5 Hedonic response of tuna and Bali sardinella gill chips
Tabel 5 Respons hedonik keripik insang ikan tuna dan lemuru

Attributes	Sensory response from variety of gill chips			
	Fresh tuna	Frozen tuna	Fresh Bali sardinella	Frozen Bali sardinella
Appearance	8.80±0.63 ^a	8.90±0.32 ^a	8.80±0.63 ^a	8.70±0.67 ^a
Aroma	8.20±1.03 ^a	8.30±0.95 ^a	8.10±0.89 ^a	8.10±0.99 ^a
Taste	8.90±0.32 ^a	8.90±0.32 ^a	8.30±1.15 ^a	8.30±1.34 ^a
Texture	8.60±0.84 ^b	8.60±0.84 ^b	7.60±1.10 ^a	7.60±0.70 ^a
Aftertaste	8.70±0.48 ^a	8.80±0.42 ^a	8.80±0.83 ^a	8.90±0.32 ^a
Overall	8.80±0.42 ^a	8.80±0.42 ^a	8.60±0.47 ^a	8.50±0.53 ^a

Different superscript letters in the same column indicate a significant difference.



Figure 1 Visualization of gill chips; (a) fresh tuna, (b) frozen tuna, (c) fresh Bali sardinella, (d) frozen Bali sardinella

Gambar 1 Visualisasi keripik insang; (a) tuna segar, (b) tuna beku, (c) lemuru segara, (d) lemuru beku

Proses yang diterapkan pada bahan insang tuna dan lemuru tidak memiliki ketampakan atau bau yang khas pada kedua keripik insang (Figure 1). Panelis menyatakan bahwa keripik insang ikan tuna dan lemuru dapat diterima dan layak untuk dipasarkan.

KESIMPULAN

Insang ikan tuna dan lemuru dalam kondisi segar dan beku memiliki karakteristik gizi yang layak, kandungan logam berat di bawah batas aman, mutu mikrobiologi sesuai standar, serta tingkat penerimaan konsumen yang tinggi setelah diolah menjadi keripik. Insang dari kedua jenis ikan, baik segar maupun beku, dapat dijadikan bahan baku alternatif yang aman dan disukai untuk produk keripik bernilai tambah.

DAFTAR PUSTAKA

- Adharani, N., Kurniawati, A., Sulistiono, S., & Wardhana, M. G. (2017). Upaya minimalisasi dampak pencemaran dari limbah lemuru sebagai bahan baku *nata de fish* di Kecamatan Muncar Kabupaten Banyuwangi. *Jurnal Enggano*, 2(1), 1–10. <https://doi.org/10.31186/jenggano.2.1.1-10>
- Afifah, A., Suparno, O., Haditjaroko, L., Tarman, K., Setiyono, A., & Nugraha, A. W. (2024). Isolation and characterization of collagen from salmon (*Salmo salar*) skin using papain enzyme. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 27(6), 536–552. <http://dx.doi.org/10.17844/jphpi.v27i6.53285>
- Ahmed, T., Sharmin, A., Paul, A., Dipu, M. R., & Islam, T. (2020). Microbiological quality analysis of different types

- of popular dried food items. *Food Research*, 4(4), 1297–1302. [https://doi.org/10.26656/FR.2017.4\(4\).080](https://doi.org/10.26656/FR.2017.4(4).080)
- Ali, M. M., Ali, M. L., Islam, M. S., & Rahman, M. Z. (2016). Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment of Karnaphuli River, Bangladesh. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 5, 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2016.01.002>
- Al-Jumayi, H. A., & Darwish, A. M. G. (2021). Frying time and temperature conditions' influences on physicochemical, texture, and sensorial quality parameters of barley-soybean chips. *Journal of Food Quality*, 2021, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2021/5748495>
- Alsafy, M. A. M., Abd-Elhafeez, H. H., Rashwan, A. M., Erasha, A., Ali, S., & El-Gendy, S. A. A. (2025). Anatomy, histology, and morphology of fish gills in relation to feeding habits: a comparative review of marine and freshwater species. *BMC Zoology*, 10(1), 1–21. <https://doi.org/10.1186/s40850-025-00223-5>
- Alsafy, M. A. M., El-Gendy, S. A. A., El-Bakary, N. E. R., Kamal, B. M., Derbalah, A., & Roshdy, K. (2023). Morphological comparison of the detailed structure of gill rakers from three different feeding habits of marine fish species. *Zoomorphology*, 142(1), 87–97. <https://doi.org/10.1007/s00435-022-00574-4>
- [AOAC] AOAC International. (2016). Official Methods of Analysis of AOAC International. In 20th ed. Gaithersburg: AOAC. Association of Official Analytical Chemists.
- Ayanda, I. O., Ekhaton, U. I., & Bello, O. A. (2019). Determination of selected heavy metal and analysis of proximate composition in some fish species from Ogun River, Southwestern Nigeria. *Heliyon*, 5(10), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02512>
- Aydin, I., & Gokoglu, N. (2014). Effects of temperature and time of freezing on lipid oxidation in anchovy (*Engraulis encrasicolus*) during frozen storage. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(8), 1–6. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201300450>
- [BPOM] Badan Pengawas Obat dan Makanan. (2022). Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 9 Tahun 2022 tentang Persyaratan Cemaran Logam Berat dalam Pangan Olahan. Jakarta: Badan Pengawas Obat dan Makanan.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2006a). SNI 01-2332.2-2006 – Cara Uji Mikrobiologi – Bagian 2: Penentuan Salmonella pada Produk Perikanan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2006b). SNI 01-2354.4-2006 – Cara Uji Kimia – Bagian 4: Penentuan Kadar Protein dengan Metode Total Nitrogen pada Produk Perikanan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2007). SNI 01-2332.4-2006 – Cara Uji Mikrobiologi – Bagian 4: Penentuan Vibrio cholerae pada Produk Perikanan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2009). SNI 7387:2009 – Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2010). SNI 2354.1:2010 – Cara Uji Kimia – Bagian 1: Penentuan Kadar Abu dan Abu Tak Larut dalam Asam pada Produk Perikanan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 2354.5:2011 – Cara Uji Kimia – Bagian 5: Penentuan Kadar Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Produk Perikanan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2015a). SNI 2332.1:2015 – Cara Uji Mikrobiologi – Bagian 1: Penentuan Koliform dan Escherichia coli pada Produk Perikanan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2015b). SNI 2332.3:2015 – Cara Uji Mikrobiologi – Bagian 3: Penentuan Angka Lempeng Total (ALT) pada Produk Perikanan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional.



- (2015c). SNI 2354.2:2015 – Penentuan Kadar Air pada Produk Perikanan. In Badan Standardisasi Nasional (BSN) (SNI 2354.2:2015). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2016). SNI 2354.6:2016 – Cara Uji Kimia – Bagian 6: Penentuan Kadar Logam Berat Merkuri (Hg) pada Produk Perikanan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2017). SNI 2354-3:2017 – Cara Uji Kimia – Bagian 3: Penentuan Kadar Lemak Total pada Produk Perikanan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2018). SNI 2346:2018 – Cara Uji Organoleptik pada Produk Perikanan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2021). SNI 2729:2021 – Ikan Segar. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Benyahia-Mostefaoui, A., Dehiba, F., Boualga, A., Taleb-Senouci, D., & Lamri-Senhadj, M. (2014). Milk lipids and sardine oil intake modulate differently enzymatic antioxidant defense in rats fed an atherogenic diet. *Journal of Experimental and Integrative Medicine*, 4(2), 115–121. <https://doi.org/10.5455/jeim.060414.or.100>
- Bija, S., Luthfiyana, N., & Rozi, A. (2022). The effect of cooking process on nutritional composition of lais fish (*Cryptopterus* sp.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1083(1), 1–10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1083/1/012012>
- Bordin, K., Kunitake, M.T., Aracava, K.K., Trindade, C.S.F. (2013). Changes in food caused by deep fat frying – a review. *Alan Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 63(1).
- Budiadnyani, I. G. A., Cesrany, M., Ginting, E. K., & Sudaryatma, P. E. (2024). Organoleptic testing and histopathological examination of gills of *Thunnus* sp. and *Sardinella lemuru* as raw materials for gill chips. *BIO Web of Conferences*, 92, 1–7. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20249202003>
- Dawson, P., Al-Jeddawi, W., & Remington, N. (2018). Effect of freezing on the shelf life of salmon. *International Journal of Food Science*, 2018, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2018/1686121>
- Domingues, V. F., Quaresma, M., Sousa, S., Rosas, M., Ventoso, B., Nunes, M. L., & Delerue-Matos, C. (2021). Evaluating the lipid quality of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) harvested from different oceans by their fatty acid signatures. *Foods*, 10(11), 1–9. <https://doi.org/10.3390/foods10112816>
- Evans, A. N., & Nunez, B. S. (2015). Fresh water acclimation elicits a decrease in plasma corticosteroids in the euryhaline atlantic stingray, *dasyatis sabina*. *General and Comparative Endocrinology*, 222, 167–172. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2015.08.010>
- Faci, M. E., Lazar, I., Ifrim, I., Ureche, C., & Lazar, G. (2014). Exploratory spatial data analysis of heavy metals concentration in two sampling sites on Siret River. *Environmental Engineering and Management Journal*, 13(9), 2179–2186. <https://doi.org/10.30638/eemj.2014.242>
- Fan, L., Xian, C., Tang, S., Ding, W., Xu, C. H., & Wang, X. C. (2022). Effect of frozen storage temperature on lipid stability of hepatopancreas of *Eriocheir sinensis*. *LWT*, 154, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112513>
- Foyle, K. L., Hess, S., Powell, M. D., & Herbert, N. A. (2020). What is gill health and what is its role in marine finfish aquaculture in the face of a changing climate? In *Frontiers in Marine Science*, 7, 1–16. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00400>
- Franco, D., Munekata, P. E. S., Agregán, R., Bermúdez, R., López-Pedrouso, M., Pateiro, M., & Lorenzo, J. M. (2020). Application of pulsed electric fields for obtaining antioxidant extracts from fish residues. *Antioxidants*, 9(2), 1–14. <https://doi.org/10.3390/antiox9020090>
- Ghaly, A. E., Ramakrishnan, V. V., Brooks, M. S., Budge, S. M., & Dave, D. (2013). Fish processing wastes as a potential source of proteins, amino acids and oils: a critical review. *Journal of Microbial*

- and Biochemical Technology*, 5(4), 107–129. <https://doi.org/10.4172/1948-5948.1000110>
- Gökoğlu, N., & Yerlikaya, P. (2015). Seafood chilling, refrigeration and freezing: science and technology. In *Seafood Chilling, Refrigeration and Freezing: Science and Technology*. Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781118512210>
- Habarakada, A., Perumpuli, P. A. B. N., Thathsaranee, W. T. V., & Wanninaika, I. P. (2021). Physical, chemical, and nutritional quality parameters of three different types of oil: determination of their reusability in deep frying. *Food Research*, 5(5), 226–235. [https://doi.org/10.26656/FR.2017.5\(5\).079](https://doi.org/10.26656/FR.2017.5(5).079)
- Hallier, A., Chevallier, S., Serot, T., & Prost, C. (2008). Freezing-thawing effects on the colour and texture of European catfish flesh. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(7), 1253–1262. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01601.x>
- Jumiati, J., Rahmaningsih, S., & Sudianto, A. (2021). Mutu kerupuk limbah insang ikan kurisi (*Nemipterus japonicus*) ditinjau dari analisis proksimat. *Jurnal Teknologi Pangan*, 15(1), 1–11. <https://doi.org/10.33005/jtp.v15i1.2715>
- Kamila, F.R., Sarastani, D. (2025). Pengaruh metode thawing terhadap mutu produk naget ikan. *Jurnal Miyang*, 5(1), 9–15.
- Kandyliari, A., Mallouchos, A., Papandroulakis, N., Golla, J. P., Lam, T. K. T., Sakellari, A., Karavoltsos, S., Vasiliou, V., & Kapsokefalou, M. (2020). Nutrient composition and fatty acid and protein profiles of selected fish by-products. *Foods*, 9(2), 1–14. <https://doi.org/10.3390/foods9020190>
- Lestari, V., Kusumaningrum, I., Zuraida, I., Diachanty, S., & Pamungkas, B. F. (2024). Pemanfaatan kepala dan tulang ikan bawis (*Siganus canaliculatus*) pada pengolahan kerupuk. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 27(1), 16–26. <http://dx.doi.org/10.17844/jphpi.v27i1.45014>
- Mangano, V., Gervasi, T., Rotondo, A., De Pasquale, P., Dugo, G., Macri, F., & Salvo, A. (2021). Protein hydrolysates from anchovy waste: purification and chemical characterization. *Natural Product Research*, 35(3), 399–406. <https://doi.org/10.1080/14786419.2019.1634711>
- Martínez-Alvarez, O., Chamorro, S., & Brenes, A. (2015). Protein hydrolysates from animal processing by-products as a source of bioactive molecules with interest in animal feeding: A review. *Food Research International*, 73, 204–212. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.005>
- Maulidiyanti, E. T. S., Purwaningsih, N. V., Widiyastuti, R., Samsudin, R. R., & Arimurti, A. R. R. (2021). The effect of storage time for pooled sera on freezers on the quality of clinical chemical examination. *Medicra (Journal of Medical Laboratory Science/Technology)*, 4(2), 78–82. <https://doi.org/10.21070/medicra.v4i2.1613>
- Mozzon, M., Foligni, R., Mannozi, C., & Vittori, S. (2024). Assessment of lipid oxidation in fish and fish products processed by cold plasma technologies. *Applied Food Research*, 4(2), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100646>
- Nawaz, A., Xiong, Z., Li, Q., Xiong, H., Irshad, S., Chen, L., Wang, P., Zhang, M., Hina, S., & Regenstein, J. M. (2019). Evaluation of physicochemical, textural and sensory quality characteristics of red fish meat-based fried snacks. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(13), 5771–5777. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9845>
- Nurhayati, N., & Peranginangin, R. (2009). Prospek pemanfaatan limbah perikanan sebagai sumber kolagen. *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*, 4(3), 83–92. <https://doi.org/10.15578/squalen.v4i3.157>
- Olsen, R. L., Toppe, J., & Karunasagar, I. (2014). Challenges and realistic opportunities in the use of by-products from processing of fish and shellfish. In *Trends in Food Science and Technology*, 36(2), 144–151. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.01.007>
- Pawar, P. P., Pagarkar, A. U., & Rathod, N.



- B. (2020). Effect of chilled storage on quality characteristics of battered and breaded snack product from large sized catla (*Catla catla*). *Journal of Food Science and Technology*, 57(1), 52-59. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04028-6>
- Priyosetyoko, P., Widayat, W., Suzery, M., & Agustini, T. W. (2022). Potential of solid waste conversion into gelatin in the fisheries industry of Indonesia. *Indonesian Journal of Halal*, 5(2), 112-139. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/halal.v5i2.16719>
- Rosiani, N., Basito, B., & Widowati, E. (2015). Kajian karakteristik sensoris fisik dan kimia kerupuk fortifikasi daging lidah buaya (*Aloe vera*) dengan metode pemanggangan menggunakan microwave. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 8(2), 84-98. <https://doi.org/10.20961/jthp.v0i0.12896>
- Safitri, D. N., Sumardianto, S., & Fahmi, A. S. (2019). Pengaruh perbedaan konsentrasi perendaman bahan dalam jeruk nipis terhadap karakteristik kerupuk kulit ikan nila. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan*, 1(1), 47-54. <https://doi.org/10.14710/jitpi.2019.5249>
- Saisavoey, T., Sangtanoo, P., Reamtong, O., & Karnchanatat, A. (2019). Free radical scavenging and anti-inflammatory potential of a protein hydrolysate derived from salmon bones on RAW 264.7 macrophage cells. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(11), 5112-5121. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9755>
- Saliu, F., Magoni, C., Lasagni, M., Della Pergola, R., & Labra, M. (2019). Multi-analytical characterization of perigonadal fat in bluefin tuna: from waste to marine lipid source. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(10), 4571-4579. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9696>
- Serradell, A., Montero, D., Fernández-Montero, Á., Terova, G., Makol, A., Valdenegro, V., Acosta, F., Izquierdo, M. S., & Torrecillas, S. (2022). Gill oxidative stress protection through the use of phytochemicals and galactomannan oligosaccharides as functional additives in practical diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Animals*, 12(23), 1-20. <https://doi.org/10.3390/ani12233332>
- Shamsan, E.F., Al-maqtari, M.A., Noman, M.A. (2019). The effect of un-stable freezing on nutritional value of fish (Indian mackerel - *Rastrelliger kanagurta*, Russel) from Yemen Coastal Waters. *PSM Veterinary Research*, 4(2), 40-48.
- Shaviklo, G. R., Thorkelsson, G., Rafipour, F., & Sigurgisladdottir, S. (2011). Quality and storage stability of extruded puffed corn-fish snacks during 6-month storage at ambient temperature. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(5), 886-893. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4261>
- Simionov, I. A., Cristea, V., Petrea, Ș. M., Sîrbu, E. B., Coadă, M. T., & Cristea, D. S. (2016). The presence of heavy metals in fish meat from Danube River: an overview. *AACL Bioflux*, 9(6), 1388-1399.
- Singapurwa, N. M. A. S., Candra, I. P., & Semariyani, A. A. M. (2022). Profil protein ikan lemuru dengan pengeringan oven, pengering matahari dan sinar matahari berbasis SDS Page. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 15(2), 83-95. <https://doi.org/10.20961/jthp.v15i2.53612>
- Strzyzewska, E., Szarek, J., & Babinska, I. (2016). Morphologic evaluation of the gills as a tool in the diagnostics of pathological conditions in fish and pollution in the aquatic environment: a review. In *Veterinarni Medicina*, 61(3), 123-132. <https://doi.org/10.17221/8763-VETMED>
- Su, Y., Zhang, M., Bhandari, B., & Zhang, W. (2018). Enhancement of water removing and the quality of fried purple-fleshed sweet potato in the vacuum frying by combined power ultrasound and microwave technology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 44, 368-379. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.02.049>
- Sweidan, A. H., El-Bendary, N., Hegazy, O.

- M., Hassanien, A. E., & Snasel, V. (2015). Water pollution detection system based on fish gills as a biomarker. *Procedia Computer Science*, 65, 601–611. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.09.004>
- Topic Popovic, N., Kozacinski, L., Strunjak-Perovic, I., Coz-Rakovac, R., Jadan, M., Cvrtila-Fleck, Z., & Barisic, J. (2012). Fatty acid and proximate composition of bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) muscle with regard to plasma lipids. *Aquaculture Research*, 43(5), 722–729. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02880.x>
- Umar, A., Mokolensang, Jefrie F., Monijung, R. D., Lumenta, C., Sambali, H., & Sinjal, C. A. L. (2022). Penggunaan limbah ikan tuna sebagai sumber protein untuk pertumbuhan dan kelangsungan hidup ikan nila salin *Oreochromis niloticus*. *Budidaya Perairan*, 1(2), 254–262. <https://doi.org/https://doi.org/10.35800/bdp.10.2.2022.40576>
- Uysal, K. (2011). Heavy metal in edible portions (muscle and skin) and other organs (gill, liver and intestine) of selected freshwater fish species. *International Journal of Food Properties*, 14(2), 280–286. <https://doi.org/10.1080/10942910903176378>
- Wang, D., Xiao, H., Lyu, X., Chen, H., & Wei, F. (2023). Lipid oxidation in food science and nutritional health: a comprehensive review. *Oil Crop Science*, 8(1), 35–44. <https://doi.org/10.1016/j.ocsci.2023.02.002>
- Wikanta, T., Perwita, R., Sarnianto, P., Murdinah. (2017). Isolasi dan karakterisasi senyawa glikosaminoglikan dari organ ikan pari (*Trygon sephen*). *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 8(6), 11–20.
- Winarno, F.G. (2008). Kimia Pangan dan Gizi. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Zhang, X., Zhang, Y., Ding, H., Zhang, W., & Dai, Z. (2022). Effect of washing times on the quality characteristics and protein oxidation of silver carp surimi. *Foods*, 11(16), 1–14. <https://doi.org/10.3390/foods11162397>