



KARAKTERISTIK SISIK IKAN NILA MERAH SEBAGAI BAHAN BAKU KOLAGEN

Rizsa Mustika Pertiwi*, Mala Nurilmala, Nurjanah, Tati Nurhayati

Departemen Teknologi Hasil Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan,
IPB University, Jalan Lingkar Akademik IPB Dramaga 16680

Diterima: 8 September 2023/Disetujui: 13 Juni 2025

*Korespondensi: rizsa_mustikap@apps.ipb.ac.id

Cara sitasi (APA Style 7th): Pertiwi, R. M., Nurilmala, M., Nurjanah, & Nurhayati, T. (2025). Karakteristik sisik ikan nila merah sebagai bahan baku kolagen. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 28(6), 546-558. <http://dx.doi.org/10.17844/jphpi.v28i6.50129>

Abstrak

Hasil samping perikanan berupa sisik, tulang dan kepala dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan baku kolagen dalam industri kolagen. Tujuan penelitian, yaitu menentukan karakteristik sisik ikan nila merah sebagai bahan baku kolagen. Sisik ikan dikeringkan dengan penjemuran sinar matahari selama dua hari, sisik kering dikarakterisasi dan ekstraksi kolagen. Analisis meliputi perhitungan proporsi ikan, penentuan komposisi kimia, profil asam amino, dan cemaran logam berat sisik ikan nila merah. Proporsi ikan nila merah terdiri atas sisik $3,73 \pm 0,01\%$; kepala $24,91 \pm 0,03\%$; insang $4,32 \pm 0,01\%$; tulang $19,19 \pm 0,02\%$; daging dan kulit $33,00 \pm 0,04\%$; serta jeroan $14,85 \pm 0,01\%$. Komposisi kimia sisik ikan nila merah, yaitu kadar air ($14,35 \pm 0,09$), abu ($36,51 \pm 0,47\%$), lemak ($0,02 \pm 0,00\%$), protein ($47,69 \pm 0,37\%$), karbohidrat ($1,46 \pm 0,01\%$). Profil asam amino sebagai penciri kolagen, yaitu asam amino glisina ($101.488,45 \pm 305,71$ mg/g), prolina ($60,531.03 \pm 170,96$ mg/g), dan alanina ($41.427,985 \pm 111,66$ mg/g). Cemaran logam berat arsen, cadmium, dan merkuri tidak terdeteksi, sedangkan timbel terdeteksi $0,24$ mg/kg. Rendemen kolagen sisik ikan nila merah $14,70 \pm 3,25\%$. Sisik ikan nila merah berpotensi sumber bahan baku kolagen.

Kata kunci: alanina, glisina, industri hijau, *Oreochromis niloticus*, prolina

Characteristics of Red Tilapia Fish Scales as Raw Materials for The Collagen Industry

Abstract

Fishery by-products can be used in the industry, for example, tilapia fish products, namely scales, bones, and heads, as a source of raw material for the collagen industry. This study aimed to determine the characteristics of red tilapia scales as raw materials for collagen. The fish scales were sun-dried for 2 days, and the dried scales were characterized and used to extract collagen. The analysis included yield calculations, proximate analysis, heavy metals, and amino acids from red tilapia fish scales. Red tilapia scales around $3.73 \pm 0.01\%$, head $24.91 \pm 0.03\%$, gills $4.32 \pm 0.01\%$, bones $19.19 \pm 0.02\%$, meat and skin $33.00 \pm 0.04\%$ and viscera $14.85 \pm 0.01\%$. The chemical composition of red tilapia fish scales was $14.35 \pm 0.09\%$ water, $36.51 \pm 0.47\%$ ash, $0.02 \pm 0.02\%$ fat, $47.69 \pm 0.37\%$ carbohydrate, $1.46 \pm 0.01\%$ protein, and 196.52 kcal/100 g total energy content. Red tilapia scales also contain glycine ($101,488.45 \pm 305.71$ mg/g), proline ($60,531.03 \pm 170.96$ mg/g), and alanine ($41,427.985 \pm 111.66$ mg/g) as markers of collagen. Heavy metals such as arsenic, cadmium, and mercury were not detected, and lead was detected at 0.24 mg/kg. The characteristics of tilapia fish still contain components that can be used as raw materials in the collagen industry. The yield of collagen red tilapia was $14.70 \pm 3.25\%$. In the future, it is hoped that this product can be processed and further developed into raw materials for other industries to create a green industry.

Keywords: alanine, glycine, green industry, *Oreochromis niloticus*, proline

PENDAHULUAN

Indonesia telah menetapkan peraturan industri hijau pada industri di Indonesia pada Permen No.51/M IND/PER/6/2015. Industri hijau adalah industri yang dalam proses produksinya mengutamakan upaya efisiensi dan efektivitas penggunaan sumber daya secara berkelanjutan sehingga mampu menyelaraskan pembangunan industri dengan kelestarian fungsi lingkungan hidup serta dapat memberikan manfaat bagi masyarakat. Penerapan aturan tersebut berfungsi agar efisiensi dan efektivitas sumberdaya berkelanjutan dengan kontrol bahan baku, bahan penolong, energi, proses produksi, produk manajemen perusahaan, pengelolaan limbah dan/atau aspek lain. Pelaku bisnis nasional dan internasional di Indonesia saat ini sudah mulai bergerak pada penerapan industri hijau (Handoko, 2020). Penerapan industri hijau salah satunya dengan mengeliminasi limbah industri menjadi produk *value added*.

Industri yang cukup berkembang di Indonesia saat ini salah satunya yaitu filet ikan nila, perkembangannya cukup signifikan terutama setelah pandemi *covid-19*. Indonesia dan Filipina mendapatkan kesempatan untuk memenuhi permintaan ikan nila secara global dengan nilai ekspor mencapai 4,55 juta ton yang sebelumnya dominan dipasok oleh Tiongkok (FAO, 2021). Proses produksi filet ikan nila menghasilkan limbah/hasil sampingan (*by product*) dalam jumlah yang cukup banyak, yaitu kepala, kulit, tulang, sisik dan jeroan.

Pemanfaatan *by product* industri filet secara optimal dapat mendukung industri hijau serta menambah keuntungan lainnya dari segi ekonomi. Penelitian telah dilakukan dan menunjukkan bahwa *by product* ikan dapat menghasilkan produk turunan. Tulang, kulit dan sisik ikan nila dapat diolah menjadi kolagen (Romadhon *et al.*, 2019; Amiati *et al.*, 2024). Pemanfaatan lain tulang sebagai sumber kondroitin sulfat (Oliveira *et al.*, 2019), kalsium (Wijayanti *et al.*, 2018), *cookies* (Syadeto *et al.*, 2017), hingga pakan ikan (Tatuhe *et al.*, 2021). Kulit ikan nila dapat dilakukan penyamakan (Farid *et al.*, 2015; Setiawan *et al.*, 2015), kolagen-hidrolisat

(Ahmad *et al.*, 2019, Prastyo *et al.*, 2020); sisik ikan nila sumber kolagen (Tu *et al.*, 2015; El-Rashidy *et al.*, 2015; Huang *et al.*, 2016; Nurhidayah *et al.*, 2019; Kuwahara, 2021; Mufida & Herdyastuti 2022; Peng *et al.*, 2022).

Sisik ikan potensial dijadikan sumber bahan kolagen namun penelitian dan pemanfaatannya saat ini masih terbatas. Sisik ikan lebih banyak dimanfaatkan dengan mengekstraksi kalsiumnya (Dewi 2021; Asjun *et al.* 2024). Proses ekstraksi kalsium terdapat proses penghilangan protein yang terkandung dalam sisik (deproteinasi) terlebih dahulu. Oleh sebab itu penelitian ini memanfaatkan ekstraksi protein sebagai tahap awal pengelolaan *by product* sisik ikan untuk mendukung industri hijau. Karakterisasi sisik ikan nila merah perlu dilakukan sebagai informasi awal pemanfaatan terutama sebagai bahan baku pembuatan kolagen. Tujuan penelitian ini yaitu menentukan karakteristik sisik ikan nila merah sebagai bahan baku kolagen.

BAHAN DAN METODE

Proporsi Ikan Nila Merah

Ikan nila merah (*Oreochromis niloticus*) yang digunakan pada penelitian dari kolam budidaya Departemen Budidaya Hasil Perikanan, FPIK IPB, berukuran ± 200 g. Alat yang digunakan yaitu timbangan analitik. Perhitungan proporsi ikan nila dilakukan menggunakan 5 ekor ikan nila segar. Ikan nila yang sudah dimatikan kemudian dipisahkan kepala, tulang, sisik, insang, sirip, daging dan jeroan, setiap bagian tubuh ikan ditimbang untuk perhitungan proporsi. Perhitungan proporsi dapat ditentukan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Proporsi (\%)} = \frac{\text{Berat bagian tubuh (g)}}{\text{Berat total ikan (g)}} \times 100$$

Preparasi Sisik Ikan Nila Merah

Sisik ikan nila merah ditampung saat penyiangan ikan kemudian di cuci dan dikeringkan. Pengeringan sisik ikan dilakukan dengan metode penjemuran dibawah sinar matahari. Penjemuran dilakukan selama dua hari (sampai sisik kering).



Analisis Komposisi Kimia

Analisis komposisi kimia meliputi kadar air, abu, lemak dan protein mengacu pada AOAC (2005), serta karbohidrat *by difference*. Prinsip analisis kadar air yaitu pengeringan menggunakan oven dan membandingkan bobot kering terhadap berat sampel. Analisis kadar abu menghitung berat abu terhadap berat sampel. Analisis lemak sampel menghitung kadar lemak yang larut pada pelarut non-polar (n-heksana) dan dikeringkan pada oven. Analisis dilakukan di laboratorium Saraswanti Indo Genetech.

Kadar air

Analisis kadar air bertujuan untuk mengetahui jumlah air yang terkandung pada sisik ikan nila. Cawan dikeringkan terlebih dahulu pada oven dengan suhu 105°C selama 1 jam. Cawan kemudian dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit hingga suhu ruang dan ditimbang. Sisik ikan nila yang digunakan sebanyak 3 g dimasukkan ke dalam cawan untuk dikeringkan pada oven dengan suhu 105°C selama 6 jam. Sampel yang sudah dikeringkan kemudian dimasukkan ke dalam desikator dan ditimbang. Perhitungan kadar air dapat ditentukan menggunakan rumus berikut:

Kehilangan berat (g) = berat sampel awal (g) –
berat setelah
dikeringkan

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{\text{Kehilangan berat (g)}}{\text{Berat sampel awal (g)}} \times 100$$

Kadar abu

Analisis kadar abu dilakukan untuk mengetahui jumlah mineral yang terkandung dalam sisik ikan nila. Cawan dikeringkan terlebih dahulu pada oven dengan suhu 105°C selama 1 jam, kemudian didinginkan selama 15 menit di dalam desikator dan ditimbang. Sisik ikan nila sebanyak 1 g dimasukkan ke dalam cawan, kemudian dipijarkan di atas nyala api bunsen hingga tidak berasap. Cawan yang berisi sampel kemudian dimasukkan ke dalam tanur pengabuan pada suhu 600°C selama 6 jam. Sampel yang sudah dikeringkan kemudian dimasukkan ke dalam desikator hingga suhu ruang dan ditimbang.

Perhitungan kadar abu dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Berat abu (g)} = \text{berat sampel dan cawan akhir (g)} - \text{berat cawan kosong}$$

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{\text{Berat abu (g)}}{\text{Berat sampel (g)}} \times 100$$

Kadar lemak

Analisis kadar lemak dilakukan untuk menentukan jumlah lemak yang terkandung dalam sisik ikan nila. Labu lemak dikeringkan dalam oven bersuhu 105°C selama 1 jam sebelum digunakan, setelah itu labu lemak didinginkan dalam desikator selama 15 menit dan ditimbang. Sampel 2-5 g dimasukkan dalam kertas saring dan diikat dengan kapas wol bebas lemak. Pelarut lemak berupa heksana dimasukkan ke labu lemak, kemudian timbel dimasukkan dan dipasangkan ke alat ekstraksi soxhlet. Labu lemak dipanaskan dan diekstraksi pada suhu 80°C selama 6 jam. Pelarut disuling dan ekstrak lemak dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C hingga diperoleh berat konstan. Hasil pengeringan didinginkan dalam desikator selama 30 menit kemudian ditimbang. Perhitungan kadar lemak dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Kadar lemak (\%)} = \frac{W3 - W2 \text{ (g)}}{W1 \text{ (g)}} \times 100$$

Keterangan:

W1 = bobot sampel (g)

W2 = bobot labu lemak kosong (g)

W3 = bobot labu lemak dengan lemak (g)

Kadar protein

Analisis protein bertujuan untuk mengetahui kandungan protein kasar (crude protein) pada sampel. Tahapan untuk menguji kadar protein yaitu tahap destruksi, destilasi, dan titrasi. Tahap destruksi berupa sisik ikan nila 1 g ditimbang, kemudian dimasukkan ke dalam labu Kjeldahl. Setengah tablet Kjeldahl (selenium) dimasukkan ke dalam labu Kjeldahl dan ditambahkan 10 mL H₂SO₄. Tabung yang berisi larutan dimasukkan ke dalam alat pemanas dengan suhu 410 . Tahap

destruksi dilakukan hingga larutan menjadi jernih.

Tahap destilasi berupa sampel yang telah melalui tahap destruksi, kemudian dilarutkan ke dalam labu takar 100 mL menggunakan akuades. Air bilasan dimasukkan ke dalam alat destilasi dan ditambahkan larutan NaOH 40% sebanyak 10 mL. Cairan yang berada pada ujung tabung kondensor ditampung dalam Erlenmeyer berukuran 125 mL berisi larutan H_3BO_3 dan 3 tetes indikator (cairan bromokresol hijau dan metal merah) yang terdapat pada bawah kondensor. Destilasi dilakukan hingga diperoleh larutan berwarna hijau kebiruan.

Tahap titrasi dilakukan menggunakan larutan HCl 0,1 N hingga warna larutan dalam Erlenmeyer berubah menjadi merah muda. Perhitungan kadar protein dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut.

$$\% \text{ nitrogen} = \frac{A \text{ (mL)} \times N \text{ HCl} \times 14 \times FP \times 100}{\text{mg sampel}} \times 100$$

Kadar protein (g) = % nitrogen $\times$ faktor konversi

Keterangan:

N HCl = normalitas HCl standar yang digunakan (0,1 N)

Fk = faktor konversi

FP = faktor pengenceran

A = mL HCl - mL HCl blanko

Analisis Asam Amino

Analisis asam amino ditentukan dengan *ultra performance liquid chromatography* (UPLC) di Laboratorium Saraswanti Indo Genetech. Perangkat UPLC harus dibilas terlebih dahulu dengan eluen yang akan digunakan selama 2 sampai 3 jam sebelum digunakan, begitu juga dengan *syringe* yang akan digunakan harus dibilas dengan akuades hingga bersih. Analisis asam amino menggunakan UPLC terdiri atas dua tahap, yaitu (1) pembuatan larutan sampel dan (2) pembuatan larutan standar. Tahap pembuatan larutan sampel, yaitu sampel ditimbang sebanyak 0,1 g dan dihancurkan, kemudian ditambahkan dengan HCl 6 N sebanyak 5 mL.

Larutan tersebut dihidrolisis dalam oven pada suhu 100°C selama 22 jam. Proses pemanasan dilakukan untuk menghilangkan

gas atau udara yang ada pada sampel agar tidak mengganggu kromatogram yang dihasilkan dan untuk mempercepat reaksi hidrolisis. Hidrolisat protein yang diperoleh didinginkan dan dipindahkan ke labu ukur 50 mL kemudian ditambahkan akuabides sampai tanda batas. Hidrolisat protein disaring dengan filter berukuran 0,45 μm . Filtrat diambil sebanyak 500 μL dan ditambahkan dengan 40 μL AABA dan akuabides ± 460 μL . larutan dipipet 10 μL dan ditambahkan 70 μL AccQ-Fluor Borate kemudian divortex dan ditambahkan dengan 20 μL reagen fluor A, divortex dan didiamkan selama 1 menit. Sampel diinkubasi pada suhu 55°C selama 10 menit. Sampel disuntikkan pada UPLC.

Tahap pembuatan larutan standar/ larutan baku yaitu, standar mix asam amino diambil 40 μL dan ditambahkan dengan 40 μL internal standar AABA dan akuabides sebanyak 920 μL kemudian dihomogenkan. Standar diambil 10 μL dan ditambahkan dengan 70 μL AccQ-Fluor Borate kemudian divortex, selanjutnya ditambahkan reagen fluor A sebanyak 20 μL , divortex dan didiamkan selama 1 menit. Larutan standar diinkubasi pada suhu 55°C selama 10 menit. Standar disuntikkan pada UPLC. Kondisi kromatografi UPLC saat berlangsungnya analisis asam amino:

Jenis kolom : ACCQ-Tag Ultra C18
 Temperatur : 49°C
 Laju alir eluen : 0,7 mL per menit
 Program : gradien
 Fase gerak : sistem komposisi gradient
 Detektor : PDA, panjang gelombang (λ) 260 nm
 Volume injeksi : 1 μL

Perhitungan kadar asam amino pada bahan dihitung dengan rumus:

$$\frac{\text{Rasio analit sampel} \times (\text{C. std (pmol)/109}) \times \text{BM} \times \text{FP} \times 103}{\text{Rasio analit std} \times \text{bobot sampel (g)}}$$

Keterangan:

Rasio = luas area analit

FP = volume 1 (μL) / pemipetan (μL) $\times$ volume 2 (μL)

BM = berat molekul masing-masing asam amino



Analisis Logam Berat

Analisis cemaran logam berat sisik ikan nila dilakukan di laboratorium Saraswanti Indo Genetech mengacu pada (18-13-14/MU/SMM-SIG, ICP-MS). Kandungan logam berat arsen (As), merkuri (Hg), kadmium (Cd), dan timbel (Pb) pada sisik ikan nila dilakukan analisis menggunakan ICPMS (*inductively coupled plasma mass spectrometry*). Analisis logam berat diawali dengan pembuatan deret standar campuran logam minimal 6 titik konsentrasi. Sampel ditimbang sebanyak 0,5–1,5 g ke dalam vessel. Sampel ditambahkan HNO_3 dan diamkan selama 15 menit, kemudian vessel ditutup. Tahap selanjutnya dilakukan destruksi menggunakan *microwave digester*. Hasil destruksi didinginkan, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL. Vessel dilakukan pembilasan menggunakan akuabides secara kuantitatif, kemudian hasil bilasan digabungkan dengan hasil destruksi dalam labu ukur 50 mL. Hasil penggabungan tersebut kemudian ditambahkan internal standar campuran Ge (analit As), In (analit Cd), dan Bi (analit Hg dan Pb) 10 mg/L. Tahap selanjutnya dilakukan pengenceran dengan akuabides sampai tanda tera dan dihomogenkan. Larutan disaring menggunakan syringe filter 0,20 μm , kemudian intensitas larutan uji diukur dalam sistem ICP-MS.

$$\text{Aspl} = \frac{\text{Rasio sampel}}{\text{Rasio IS}}$$

$$B \text{ (mg/kg)} = \frac{\frac{\{(\text{Aspl} - \text{rasio blanko}) - a\}}{b} \times V \times \text{FP}}{W_{\text{spl}} \text{ atau } V_{\text{spl}}}$$

Keterangan:

Aspl = rasio sampel terhadap rasio internal standar

A = *intercept* dari kurva kalibrasi standar

b = *slope* dari kurva kalibrasi standar

Fp = faktor pengenceran

V = volume labu akhir (mL)

Wspl = bobot penimbangan porsi uji (g)

Vspl = volume pemipetan porsi uji (mL)

Ekstraksi Protein Kolagen

Sisik ikan kering direndam pada larutan NaOH selama 1 jam (1:4) kemudian dinetralkan dan direndam pada larutan asam klorida 1:5 selama 3 jam. Sisik ikan yang telah dinetralkan kemudian diekstraksi pada *waterbath* suhu 70°C selama 8 jam. Filtrat hasil ekstraksi dikeringkan menggunakan oven suhu 50°C selama 12 jam, diperoleh protein kolagen kering. Kolagen tersebut diukur rendemen, kadar air serta bobot molekul.

Analisis Bobot Molekul

Kolagen kering 2 mg dilarutkan dalam 1 mL SDS 5%, *treatment* pada suhu 85°C selama 1 jam, disentrifugasi 12.400 rpm selama 5 menit. Filtrat sampel ditambah dengan *buffer* sampel dengan perbandingan 1:1 dan *heating* pada suhu 95°C selama 5 menit. Gel *separating* yang digunakan konsentrasi 12,5%, sedangkan *stacking* dibuat dalam 4%. *Running* elektroforesis dilakukan 2 tahap dengan konsisten tegangan, 70 V selama 10 menit dan 170 V selama 1 jam. Gel setelah *running* dilakukan *staining* selama 1 jam dengan *coomasie brilliant blue* kemudian *destaining* selama 2 jam (hingga pita sampel terlihat jelas). Elektroforegram dibaca dan diukur bobot molekul menggunakan aplikasi photoCapt.

Analisis Data

Pengujian dilakukan secara tiga kali ulangan dan disajikan menggunakan nilai rata-rata. Hasil rata-rata tersebut kemudian divisualisasikan dalam diagram atau table untuk memudahkan interpretasi. Data dianalisis secara deskriptif naratif.

HASIL DAN PEMBAHASAN Proporsi Ikan Nila Merah

Ikan nila merupakan salah satu ikan air tawar yang banyak digemari oleh konsumen, ukuran yang dipasarkan untuk konsumsi biasanya mulai dari ± 200 g. *Edible portion* ikan nila yaitu bagian dagingnya, namun banyak proporsi bagian lainnya (*by product*) yaitu kepala, sisik, jeroan, tulang dan insang. Hasil perhitungan proporsi bagian tubuh ikan nila disajikan pada *Figure 1*.

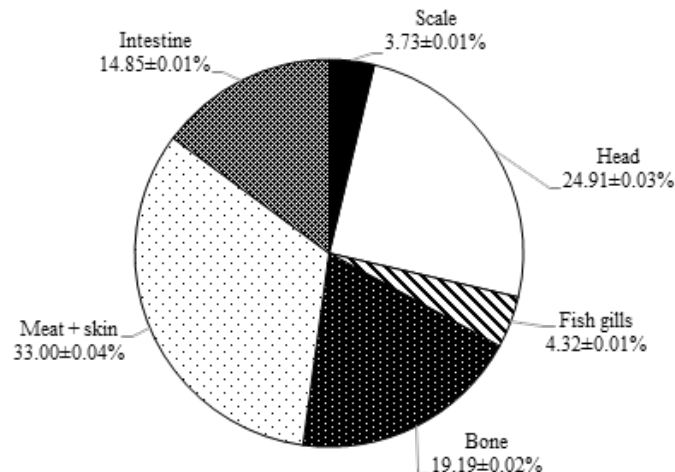


Figure 1 Proportion of red tilapia

Gambar 1 Proporsi/bagian-bagian ikan nila merah

Berdasarkan *Figure 1* terlihat bahwa proporsi bagian daging ikan nila merah yang dapat dimakan (*edible*) $\pm 33\%$. Petermman & Phelps (2014) melaporkan bahwa strain nila merah memiliki proporsi daging sebanyak 31%. Proporsi yang lebih banyak dari ikan nila merah yaitu *by product* yang pada umumnya belum dimanfaatkan secara optimal. Pemanfaatan *by product* ikan nila saat ini di Indonesia yaitu bagian tulang, salah satunya menjadi kaldu bubuk dengan kandungan asam glutamat (4,59%) (Hariyanti *et al.*, 2022), kalsium tulang (Tarigan & Sitohang 2024), serta *bio-calcium powder* dalam *cookies* (Gusmawan *et al.*, 2020).

By product dapat dimanfaatkan pada produk lain dengan nilai permintaan yang lebih tinggi, salah satunya bahan baku industri kolagen dan gelatin. Kolagen yang dihasilkan dari ikan nila bagian kulit yaitu 27,2%, sisik 3,2% (Chen *et al.*, 2016), sedangkan hidrolisat kolagen yang dihasilkan $15,17 \pm 0,12\%$ (Prastyo *et al.* 2020). Gelatin dari kulit ikan nila merah yaitu 20,00 (Nurilmala *et al.*, 2022), dari tulang ikan nila 9,4% (Apri *et al.* 2017). Pengolahan ikan nila 1.000 kg akan menghasilkan sisik 37 kg (3,7%) dan akan menghasilkan kolagen atau gelatin sebanyak 1,1 kg (asumsi rendemen 3%).

Kolagen-gelatin dari *by product* ikan nila telah banyak dikaji dan diaplikasikan pada produk, salah satunya kolagen-gelatin sebagai pengental pada sirup (Dewantoro *et al.*, 2019;

Sukardi & Sugiharto 2023; Istiqomah & Sugiharto 2023), *fish glue* (Akter *et al.*, 2017; Sari *et al.*, 2017), fortifikasi nanokalsium tulang pada produk pangan (Anggraeni *et al.*, 2016; Syadeto *et al.*, 2017; Gusmawan *et al.*, 2020) dan lain sebagainya.

Kolagen sisik ikan sangat potensial dikembangkan untuk berbagai produk, dari pangan, kesehatan, hingga industri. Núñez-Tapia *et al.* (2025) melaporkan bahwa kolagen sisik ikan dalam *bio-based composite membranes* menunjukkan viabilitas sel yang lebih tinggi dan proliferasi yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol kolagen komersial tipe I. Naidoo *et al.* (2024) melaporkan bahwa kolagen sisik ikan dan hidrolisatnya potensial digunakan dalam pembuatan *polyurethane foam* (PUF). Penambahan kolagen sebagai *filler* menunjukkan ketahanan sobek yang signifikan pada produk, mendukung *sustainability*, mengatasi tantangan pengelolaan limbah dan mengembangkan produk yang ramah lingkungan.

Komposisi Kimia Sisik Ikan Nila Merah

Ikan adalah sumber gizi yang sangat baik, menyediakan kombinasi protein berkualitas tinggi, lemak sehat (terutama omega-3), serta berbagai vitamin dan mineral yang bermanfaat bagi tubuh manusia. Penelitian ini memfokuskan karakteristik *by*



product yaitu sisik ikan nila merah. Komposisi kimia sisik ikan nila merah meliputi kadar air, abu, protein, lemak, karbohidrat dan energi total yang disajikan pada *Table 1*.

Komposisi kimia sisik ikan nila merah yang disajikan pada *Table 1* menunjukkan bahwa komponen utama pada sisik yaitu protein dan abu, sejalan dengan referensi. Komposisi bahan kimia suatu sampel dapat berbeda-beda bila dibandingkan dengan hasil penelitian Akter *et al.* (2017) kadar protein dari sisik ikan nila merah pada penelitian ini lebih tinggi. Perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh spesies, pola makan, musim, tingkat aktivitas/stress selama penangkapan yang memengaruhi komposisi kimia (Rosmawati *et al.*, 2018).

Kadar abu yang tinggi pada sisik terbentuk dari sisa pembakaran bahan organik. Komponen utama dalam abu adalah mineral di antaranya kalsium, fosfor, magnesium, dan lainnya. Nilai ini cukup tinggi, mengindikasikan kandungan mineral dalam sisik ikan nila merah, namun untuk lebih dalam pemanfaatan mineral harus dikaji lebih lanjut. Dewi (2021) melaporkan bahwa sisik ikan nila pada ekstraksi kalsium dengan konsentrasi pelarut berbeda mengandung kadar abu 24-64%, dapat menghasilkan rendemen 55-58% dengan kadar kalsium di dalamnya 35-450 mg/100 g.

Protein dalam sisik ikan berasal dari keratin, kolagen, dan beberapa komponen struktural lainnya yang ada dalam jaringan sisik yang keras. Komponen penyusun sisik ikan dari protein kemungkinan besar yaitu kolagen ataupun keratin (Basu *et al.*, 2008). Protein pada sisik ikan cukup

tinggi, sehingga pada pemanfaatan kalsium dihindarkan dengan proses proteinasi, proses tersebut menggunakan pelarut kimia dan menimbulkan limbah lainnya. *Value added* protein sisik ikan dengan mengekstrak kolagen proteinnya. Penunjang penelitian kami identifikasi luasan protein pada sisik menggunakan metode *masson's trichome* dengan pewarnaan *hematoksin eosin*, namun hasil yang diperoleh kurang baik. Hal tersebut diduga disebabkan oleh karakter sisik yang keras berbeda dengan jaringan lainnya. Oleh sebab itu kami cek komposisi asam amino sebagai bukti bahwa di sisik terkandung penciri kolagen dari sisik ikan nila merah.

Komposisi Asam Amino

Protein merupakan komponen utama yang terkandung dalam sisik ikan nila merah, asam amino merupakan penyusun struktur protein tersebut. Analisis komposisi asam amino ditujukan untuk menentukan asam amino yang terdapat pada sisik ikan nila merah. Hasil analisis disajikan pada *Table 2*.

Hasil pada *Table 2* menunjukkan bahwa 18 jenis asam amino yang diuji pada sisik ikan nila merah dengan komposisi yang tidak sama pada setiap jenisnya. Komposisi asam amino yang paling dominan yaitu glisina ($101,49 \pm 0,31$ mg/g) dan prolina ($60,53 \pm 0,17$ mg/g), sedangkan yang komposisinya paling sedikit yaitu L-triptopan ($<0,40$ mg/g). Asam amino glisina dan prolina merupakan salah satu ciri bahwa asam amino tersebut penyusun protein kolagen. Protein kolagen terdiri dari *tropocollagen* sebagai unit dasar dengan asam amino utama adalah glisina (*gly*), prolina (*pro*), dan hidroksiprolin (*hyp*) (Boran dan

Table 1 Chemical composition of red tilapia scales

Tabel 1 Komposisi kimia sisik nila merah

Parameter	Red tilapia scale	Tilapia scale ^a	Tilapia scale flour ^b
Moistures (%)	14.35±0.09	56.34±0.64	5.74±0.02
Ash (%)	36.51±0.47	19.72±0.74	40.31±0.03
Lipid (%)	0.02±0.00	0.82±0.10	0.11±0.00
Protein (%)	47.69±0.37	21.84±1.30	49.52±0.01
Carbohidrat (by difference)	1.455±0.01	-	10.90±0.06
Energy (kcal/100 g)	196.52±1.41	-	239.13±0.16

^aAkter *et al.* (2017); ^bSyndri *et al.* (2023)

Table 2 Amino acid of tilapia scales

Tabel 2 Asam amino sisik nila

Amino acid	Red tilapia scale	Tilapia scale flour*
L-alanin	41.43±0.11	50.10±0.01
L-arginin	44.17±0.09	31.90±0.01
L-aspartic acid	19.90±0.03	25.90±0.01
Glysin	101.49±0.31	137.00±0.01
L-glutamic acid	39.27±0.09	52.80±0.01
L-histidine	9.54±0.04	4.20±0.01
L-isoleucine	7.77±0.01	7.60±0.01
L-sistine	2.28±0.00	-
L-leusin	15.13±0.03	14.60±0.01
L-lysine	14.89±0.04	15.70±0.01
L-methionine	3.32±0.00	5.00±0.02
L- tryptophan	<0,40	-
L-valine	12.35±0.01	12.40±0.01
L-phenylalanine	13.21±0.00	12.30±0.01
L-proline	60.53±0.17	-
L-serine	20.86±0.05	17.60±0.01
L-tyrosine	5.64±0.00	15.10±0.01
L-threonine	1690±0.02	13.40±0.01

*Syandri *et al.* (2023)

Regenstein, 2010). Kandungan asam amino *gly* adalah yang tertinggi, dan menempati lebih dari 30% dari total asam amino (Tang *et al.*, 2022).

Cemaran Logam Berat Sisik Nila Merah

Cemaran logam berat pada sisik ikan nila merah diamati agar *by product* yang akan digunakan pada industri aman untuk diproses selanjutnya. Hasil analisis cemaran logam berat pada sisik ikan nila merah disajikan pada *Table 3*. Hasil menunjukkan bahwa cemaran logam berat arsen, kadmium dan merkuri tidak terdeteksi pada sisik ikan nila merah, sedangkan timbel terdapat 0,24 mg/kg. Nilai timbel masih di bawah ambang batas standar bahan pangan (SNI 7387-2009) yaitu 0,3 mg/kg, serta SNI syarat mutu kolagen kasar dari sisik ikan (SNI 8076:2014)

yaitu arsen maksimum 1 mg/kg, kadmium maksimum 0,1 mg/kg, timbel maksimum 0,4 mg/kg, dan merkuri maksimum 0,5 mg/kg. Sehingga sisik ikan ini aman digunakan sebagai bahan baku produksi karena tidak tercemar logam berat. Salah satu keuntungan dari penggunaan bahan baku dari sumber budidaya yaitu kondisi lingkungan yang lebih terjaga. Berbeda dengan bahan baku dari perairan sungai yang diteliti oleh Suleman *et al.* 2025 bahwa sisik ikan nila yang diteliti tercemar logam berat dengan nilai kadmium yang melebihi ambang batas.

Karakteristik sisik ikan nila yang di analisis mampu dimanfaatkan lebih baik untuk kolagen-gelatin, mengingat komposisi kimianya yang kaya akan protein, kandungan asam amino penyusunnya yang lengkap, serta tidak adanya cemaran logam berbahaya. Sisik ikan nila merah berpotensi dijadikan



Table 3 Heavy metals of tilapia scales
Tabel 3 Cemaran logam berat sisik ikan nila

Heavy metals	Limit detection	Red tilapia scales (mg/kg)	River's tilapia scales (mg/kg)*	
Arsenic (As)	0.0004	Not detected	0.15±0.01	0.41±0.03
Cadmium (Cd)	0.0002	Not detected	6.22±0.10	2.46±0.20
Mercury (Hg)	0.0008	Not detected	-	-
Lead (Pb)		0.24±0.00	11.01±1.50	0.76±0.11

*Suleman *et al.* (2025)

salah satu alternatif bahan baku kolagen dan gelatin agar dapat membuat industri bersih pada suatu kawasan industri perikanan, serta menjadikannya bahan baku yang aman dan bernilai tinggi untuk berbagai industri.

Kolagen

Kolagen merupakan komponen struktural utama dari jaringan pengikat putih (*white connective tissue*) yang meliputi hampir 30% dari total protein pada jaringan organ tubuh vertebrata dan invertebrata. Penggunaan kolagen dalam industri pangan dan non-pangan semakin meningkat seiring dengan diketahuinya manfaat kolagen bagi tubuh. Pada umumnya berasal dari jaringan kulit hewan darat misalnya sapi dan babi, dan beberapa hewan unggas sebagai bahan baku potensial. Namun setelah dikaji pada

penelitian ini, sisik ikan nila merah juga berpotensi menjadi salah satu alternatif sumber produksi kolagen, hasil perikanan sebagai bahan baku termasuk kategori halal, dipantau dengan produksi yang halal maka akan diperoleh produk yang halal, berbeda dengan sumber bahan baku yang selama ini digunakan umumnya tidak halal.

Ekstraksi kolagen dilakukan menggunakan bahan baku sisik ikan nila merah kering (pengeringan matahari). Sisik ikan nila merah kering dilakukan *pretreatment* menggunakan larutan basa (NaOH) selama 1 jam 1:4 (b/v) kemudian di netralkan dan direndam larutan asam klorida 1:5 (b/v) selama 3 jam kemudian dinetralkan kembali. Sisik ikan nila yang telah netral di ekstraksi menggunakan air standar air minum perbandingan 1:1 (b/v) selama 8 jam.

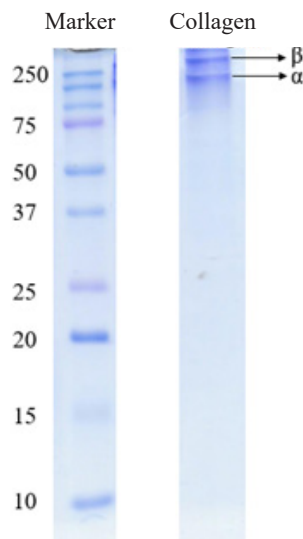


Figure 2 Collagen profile (SDS-PAGE)
Gambar 2 Profil kolagen (SDS-PAGE)

Ekstrak kolagen yang diperoleh kemudian di keringkan menggunakan oven, kolagen kering ditimbang untuk perhitungan rendemen. Rendemen yang dihasilkan dari ekstraksi tersebut yaitu $14,70 \pm 3,25\%$ dan kadar air $1,14 \pm 0,00\%$. Rendemen yang diperoleh berkisar sama dengan penelitian sebelumnya, yaitu sisik ikan nila merah 11-14% (Lamima 2022), ikan mas 11% (Carolina *et al.*, 2024).

Kandungan kolagen dari sisik ikan nila yaitu 0,29% (Nurhidayah *et al.*, 2019), 0,63% (Romadhon *et al.*, 2019), 1,6-14,9% (Huang *et al.*, 2016). Kandungan kolagen dalam sisik ikan bervariasi tergantung pada proses ekstraksinya, sampai saat ini masih banyak pengembangan metode agar menghasilkan rendemen yang tinggi. Protein kolagen dapat dikonversi menjadi gelatin dan peluang pemanfaatannya juga sama besar. Rendemen gelatin dari sisik ikan nila yaitu 11,88% (Sockalingam & Abdullah 2015), 12,1% (Martins *et al.*, 2018), 2,1-19,3% (Shiao *et al.*, 2021).

Kolagen memiliki pita khas yang dicirikan pada hasil pengujian SDS-PAGE serta setiap pita tersebut memiliki bobot molekul masing-masing. Hasil analisis SDS-PAGE disajikan pada *Figure 2*. Kolagen tersusun atas *triple helix* yang berpilin antara pita kembar (α_1 dan α_2) serta β . Hasil analisis bobot molekul berdasarkan pita analisis SDS-PAGE, pita α memiliki bobot molekul protein sekitar 183 KDa sedangkan β memiliki bobot molekul 319 KDa. Profil SDS-PAGE sisik ikan nila merah khas profil kolagen. Widiyanto *et al.*, (2022) melaporkan bahwa kolagen dari sisik dan kulit ikan cokelatan, swanggi dan kurisi memiliki rantai α dan polimer β . Hasil elektroforesis menunjukkan rantai α_1 pada 117 kDa, rantai α_2 pada 107 kDa dan rantai β pada 244 kDa.

KESIMPULAN

Proporsi sisik ikan nila merah yaitu $3,73 \pm 0,01\%$, mengandung kadar air $14,35 \pm 0,09\%$, abu $36,51 \pm 0,47\%$, lemak $0,02 \pm 0,00\%$, protein $47,69 \pm 0,37\%$ dan karbohidrat $1,455 \pm 0,01\%$. Asam amino yang utama pada sisik ikan nila merah yaitu glisina dan prolina. Sisik ikan nila merah bebas dari

cemaran logam berat As, Cd dan merkuri, serta Pb sesuai standar SNI bahan pangan dan mutu kolagen. Kolagen sisik ikan nila merah $14,70 \pm 3,25\%$ dengan pita SDS-PAGE sesuai pola kolagen. Sisik ikan nila merah berpotensi dijadikan sebagai bahan baku industri kolagen sebagai penunjang industri hijau.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih setinggi-tingginya kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi atas pendanaan penelitian skema Penelitian Disertasi Doktor tahun anggaran 2023 atas nama Prof. Dr. Mala Nurilmala, S.Pi., M.Si. dengan Nomor kontrak 102/E5/PG.02.00. PL/2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M. G., Setyaningsih, I., & Trilaksani, W. (2019). Formulasi dan bioaktivitas suplemen tablet berbasis *Spirulina* dan hidrolisat kolagen kulit ikan nila. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 22(3), 453-463. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v22i3.28925>
- Akter, S., Rahman A, M., Naher, J., Majumder, M. W. R., & Alam A. K. M. N. (2017). Fish glue from tilapia scale and skin and its physical and chemical characters. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 5(2), 255-257.
- Anggraen, N., Darmanto, Y. S., & Riyadi, P. H. (2016). Pemanfaatan nanokalsium tulang ikan nila (*Oreochromis niloticus*) pada beras analog dari berbagai macam ubi jalar (*Ipomoea batatas* L.). *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 5(4), 114-122.
- Apri, N., Fahrizal., & Novita, M. 2017. Isolation of fish skin and bone gelatin from tilapia (*Oreochromis niloticus*): Response surface approach. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 334 (2018) 012061. DOI 10.1088/1757-899X/334/1/012061
- Amiati, A., Fuadi, N., Nurrahmi, S., & Jumardin, J. 2024. Effect of gamma rays irradiation of cesium-137 on collagen extraction of Nile fish scales (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Science and*



- Technology*, 13(2),6-12. <https://doi.org/10.22487/25411969.2024.v13.i2.16676>
- Asjun A., Anwar, D. P., & Saleh, A. M., (2024). Karakteristik nanokalsium food grade limbah sisik dan tulang ikan bandeng (*Chanos chanos*) Fabricius 1775 dan aplikasinya pada cookies. *Jurnal Fish Protech*, 7(2), 112-123
- Basu, B. R., Banik, A. K., & Das, M. (2008). Production and characterization of extracellular protease of mutant *Aspergillus niger* AB100 grown on fish scale. *World Journal Microbiology Biotechnology*, 24, 449-455. <https://doi.org/10.1007/s11274-007-9492-6>
- Boran, G., & Regenstien, J. M. (2010). Fish Gelatin. In *Advances in Food and Nutrition Research*; Taylor S.L. Academic Press: Burlington, UK.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. Standar Nasional Indonesia 7387-2009. (2009). Batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan. Jakarta (ID): Badan Standardisasi Nasional.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. Standar Nasional Indonesia 8076-2014. (2014). Kolagen kasar dari sisik ikan – Syarat mutu dan pengolahan. Jakarta (ID): Badan Standardisasi Nasional.
- Carolina, D. N., Satari, M. H., Priosoeryanto, B. P., Susanto, A., & Sukotjo, C. (2024). Exploring carp scales (*Cyprinus carpio* L.) as a novel source of collagen for dental use: Extraction and characterization. *Journal of Applied Pharmaceutical Science* 14(04), 204-209. 10.7324/JAPS.2024.166542
- Chen, J., Li, L., Yi, R., Xu, N., Gao, R., & Hong, B. (2016). Extraction and characterization of acid-soluble collagen from scales and skin of tilapia (*Oreochromis niloticus*). *LWT - Food Science and Technology*, 66, 453-459. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.070>
- EL-Rashidy, A. A., Gad, A. Y., Abu-Hussein, A. E. H. G., & Habib, S. I. (2015). Chemical and biological evaluation of Egyptian Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fish scale collagen. *International Journal of Biological Macromolecules*, 79(6), 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.05.019>
- Dewantoro, A. A., Kurniasih, R. A., & Suharto, S. (2019). Aplikasi gelatin sisik ikan nila (*Oreochromis niloticus*) sebagai pengental sirup nanas. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan*. 1(1), 37-46. <https://doi.org/10.14710/jitpi.2019.5246>.
- Dewi, F. R. (2021). Extraction and characterization of nano calcium from tilapia (*Oreochromis niloticus*) scales from Semarang, Indonesia. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 924 (2021) 012086, 1-7, [doi:10.1088/1755-1315/924/1/012086](https://doi.org/10.1088/1755-1315/924/1/012086)
- Farid, A. J., Riyadi, P. H., Amalia, U. (2015). Karakteristik kulit samak ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dengan penambahan bating agent alami dari pankreas sapi. *Jurnal Saintek Perikanan* 10(2), 80-83. <https://doi.org/10.14710/ijfst.10.2.80-83>
- FAO-GLOBEFISH. (2021) Tilapia Sector Growth to Resume After Shaking of Pandemic Effects. <https://www.fao.org/in-action/globefish/market-reports/resourcedetail/en/c/1416636/>
- Gusmawan, R. A., Agustini, T. W., & Fahmi, A. A. (2020). Efek penambahan bio-calcium powder tulang ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dengan konsentrasi berbeda terhadap karakteristik cookies berbahan dasar tepung mocaf. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan*. 2(2), 22-30. <https://doi.org/10.14710/jitpi.2020.9637>
- Handoko, F. (2020). Green Industrial System (Pendekatan baru dalam meningkatkan daya saing). Penerbit MK Press.
- Huang, C. Y., Kuo, J. M., Wu, S. J., & Tsai, H. T. (2016). Isolation and characterization of fish scale collagen from tilapia (*Oreochromis* sp.) by a novel extrusion-hydro-extraction process. *Food Chemistry*, 190, 997-1006. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.066>
- Istiqomah, R. W., & Sugiharto, A. (2023). Pemanfaatan gelatin dari tulang ikan nila (*Oreochromis Niloticus*) dengan metode asam sebagai pengental sirup. *Jurnal Pengolahan Pangan*. 8(1), 9-14. <https://doi.org/10.31970/pangan.v8i1.87>

- Kuwahara, J. (2021). Extraction of type I collagen from tilapia scales using acetic acid and ultrafine bubbles. *Processes*, 9 (288), 1-11. <https://doi.org/10.3390/pr9020288>
- Gusmawan, R. A., Agustini, T. W., Fahmi, A. S. (2020). Efek penambahan bio-calcium powder tulang ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dengan konsentrasi berbeda terhadap karakteristik cookies berbahan dasar tepung mocaf. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan* 2 (2), 22-30.
- Lamima, A. R. (2022). Karakteristik gelatin dari sisik ikan nila (*Oreochromis niloticus*). [Skripsi]. Institut Pertanian Bogor.
- Martins, M. E. O., Sousaa, J. R., Claudinoa, R. L., Lino, S. C. O., do Valea, D. A., Silva, A. L. C., Morais J. P. S., Filho, M. D. S. M. S., & De Souza, B. W. S. (2018). Thermal and chemical properties of gelatin from tilapia (*Oreochromis niloticus*) scale. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 27(10), 1120–1133. <https://doi.org/10.1080/10498850.2018.153553>
- Mufida, S. N., & Herdyastuti, N. (2022). Ekstraksi gelatin sisik ikan nila (*Oreochromis* spp.) dengan variasi konsentrasi asam sitrat dan waktu demineralisasi. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 6(3), 193-204. <https://doi.org/10.46252/jsai-fpik-unipa>.
- Naidoo, D., Onwubu, S. C., Mokhothu, T. H., Mdluli, P. S., Makgobole, M. U., & Mishra, A. K. (2024). Effectiveness of Fish Scale-Derived Collagen as an Alternative Filler Material in the Fabrication of Polyurethane Foam Composites. *Advances in Polymer Technology*, 2024(1): 1723927. <https://doi.org/10.1155/2024/1723927>
- Núñez-Tapia, I., Macouzet-Garduño, J., Ramírez-Ruiz, F., Vázquez-Vázquez, F. C., Álvarez-Pérez, M. A., Bucio-Galindo, L., & Piña-Barba, M. C. (2025). Bio-based composite membranes from fish scales: A novel approach to harnessing collagen and hydroxyapatite for tissue engineering applications. *Biomedical Engineering Advances* 9(2025): 100146. <https://doi.org/10.1016/j.bea.2025.100146>.
- Nurhidayah, B., Soekendarsi, E. & Erviani, A. E. (2019). Kandungan kolagen sisik ikan bandeng *Chanos-chanos* dan sisik ikan nila *Oreochromis niloticus*. *Jurnal Biologi Makasar*, 4(1), 39-47. <https://doi.org/10.20956/bioma.v4i1.6341>
- Nurimala, M., Suryamarevita, H., Hizbullah, H. H., Jacoeb, A. M., & Ochiai, Y. (2022). Fish skin as a biomaterial for halal collagen and gelatin. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(7), 1100–1110. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.09.056>
- Peng, J., Zi, Y., Xu, J., Zheng, Y., Huang, S., Hu, Y., Liu, B., Wang, X., & Zhong, J. (2022). Effect of extraction methods on the properties of tilapia scale gelatins. *International Journal of Biological Macromolecules*, 221, 1150-1160. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.09.094>
- Prastyo, D. T., Trilaksani, W., & Nurjanah. (2020). Aktivitas antioksidan hidrolisat kolagen kulit ikan nila (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 23(3), 423-433. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v23i3.31732>
- Romadhon, Darmanto, Y. S., & Kurniasih, R. A. (2019). Karakteristik kolagen dari tulang, kulit, dan sisik ikan nila. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 22(2), 403-410. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v22i2.28832>
- Rosmawati, Abustam, E., Tawali, A. B., Said, M. I., & Sari, D. K. (2018). Effect of body weight on the chemical composition and collagen content of snakehead fish *Channa striata* skin. *Fisheries Science*, 84(6), 1081–1089. <https://doi.org/10.1007/s12562-018-1248-8>
- Sari, D. K., Darmanto, Y. S., Amalia, U. (2017). Pemanfaatan limbah hasil perikanan: lem ikan berbahan baku sisik ikan yang berbeda. *Jurnal Ilmu Pangan dan Hasil Pertanian*, 1(2), 60-71.
- Setiawan, A., Riyadi, P, Sumardianto. (2015). Pengaruh penggunaan gambir (*Uncaria gambier*) sebagai bahan penyamak pada proses penyamakan kulit terhadap kualitas fisik kulit ikan nila (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Pengolahan dan*



- Bioteknologi Hasil Perikanan*, 4(2), 124-132. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jpbhp/article/view/9202>
- Shiao, W. C., Wu, T. C., Kuo, C. H., Tsai, Y. H., Tsai, M. L., Hong, Y. H., & Huang, C. Y. (2021). Physicochemical and antioxidant properties of gelatin and gelatin hydrolysates obtained from extrusion-pretreated fish (*Oreochromis* sp.) scales. *Marine Drugs*, 19, 1-18. <https://doi.org/10.3390/md19050275>
- Sukardi, R. W. I., & Sugiharto, A. (2023). Pemanfaatan gelatin dari tulang ikan nila (*Oreochromis Niloticus*) dengan metode asam sebagai pengental sirup. *Jurnal Pengolahan Pangan*, 8(1), 9-14. <https://doi.org/10.31970/pangan.v8i1.87>
- Suleman, R., Zahoor, M. A., Qarni, M. A., Saleh, I. A., Rao, W., Hussain, M., Ismail, T., Akhtar, S., Okla, M. K., Alaraidh, I. A., AbdElgayed, G., Saud, S., Hassan, S., Nazwa, T., & Fahad, S. (2025). Assessment of heavy metals and microbial loads in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) from different farms and rivers. *Scientific Reports*, 15:505, <https://doi.org/10.1038/s41598-025-87152-y>
- Sockalingam, K., & Abdullah, H. Z. (2015). Extraction and characterization of gelatin biopolymer from black tilapia (*Oreochromis mossambicus*) scales. Proceedings of the 23rd Scientific Conference of Microscopy Society Malaysia (SCMSM 2014). AIP Conf. Proc. 1669, 020053 (2015). <https://doi.org/10.1063/1.4919191>
- Syadeto, H. S., Sumardianto., & Purnamasari, L. (2017). Fortifikasi tepung tulang ikan nila (*Oreochromis niloticus*) sebagai sumber kalsium dan fosfor serta mutu cookies. *Jurnal Ilmiah Teknosains*, 3(1), 17-21. <https://doi.org/10.26877/jitek.v3i1/%20Mei.1387>
- Syandri, H., Azrita, A., Mardiah, A., Aryani, N., & Diharmi, A. (2023). The proximate composition, amino acid profile, fatty acid content, and mineral content of scale flour from three fish species as potential feeds for fish fry. *F1000Research*, 12:1144, 1-19, 10.12688/f1000research.141304.2
- Tang, C., Zhou, K., Zhu, Y., Zhang, W., Xie, Y., Wang, Z., Zhou, H., Yang, T., Zhang, Q., Xu, B. (2022). Collagen and its derivatives: from structure and properties to their applications in food industry. *Food Hydrocolloids*, 131(2022), 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107748>
- Tarigan, N., & Sitohang, U. (2024). Potensi tulang ikan nila (*Oreochromis niloticus*) untuk memenuhi kecukupan kalsium. *Amerta Nutrition* 8 (3SP), 372-379. <https://doi.org/10.20473/amnt.v8i3SP.2024.37>
- Widiyanto, Uju, & Nurilmala, M. (2022). Karakteristik kolagen dari kulit dan sisik ikan coklat, swanggi, dan kurisi sebagai bahan gelatin. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 25(3), 512-527. <http://dx.doi.org/10.17844/jphpi.v25i3.43598>