ISSN : 2621 - 1475

Karakterisasi Fisikokimia Kolagen Peptida dari Sisik Ikan Kakap Merah *(Lutjanus malabaricus)* melalui Hidroekstraksi-Enzimatis

Physicochemical Characterization of Collagen Peptides of Red Snapper (Lutjanus malabaricus) Scales by Enzymatic-Hydroextraction

Siti Nur Seha[1)*], Ahmad Taufiq[1)], Arif Hidayat[1)], St Ulfawanti Intan Subadra[1)], Yap Wing Fen[2)]

[1)]Departemen Fisika Fakultas MIPA Universitas Negeri Malang, Jl. Cakrawala No.5, Sumbersari, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65145, Indonesia
[2)]Department of Physics, Faculty of Science, Universiti Putra Malaysia, Serdang 43400 UPM, Selangor, Malaysia
Corresponding author*): sitinursehasuman@gmail.com

Cara sitasi: Seha, S. N., Taufiq, A., Hidayat, A., Subadra, S. U. I., & Fen, Y. W. (2026). Karakterisasi Fisikokimia Kolagen Peptida dari Sisik Ikan Kakap Merah (*Lutjanus malabaricus*) melalui Hidroekstraksi-Enzimatis. *Jurnal Fish Protech, 9*(2): 236-246.

ABSTRACT

This study aims to analyze the effect of papain enzyme concentration on the physicochemical characteristics of collagen peptides from red snapper (*Lutjanus malabaricus*) scales using the enzymatic hydroextraction method. The hydroextraction method was reported in previous studies to successfully reduce collagen extraction time to 7 hours, but the resulting yield was low so it was less effective for industrial application. Therefore, this study used the hydroextraction method with the addition of papain enzyme with 4 treatments, namely without the addition of papain enzyme (P0), 5% papain enzyme (P1), 10% papain enzyme (P2), and 15% papain enzyme (P3). The extracted collagen peptides were then characterized physicochemically by calculating the yield value, acidity degree (pH), and proximate analysis including water, ash, protein, and fat content. The results showed that the addition of papain enzyme significantly affected the yield value based on the results of the DMRT statistical analysis. In this study, the highest yield was produced by the P3 treatment, namely 38.34%. The acidity of collagen peptide decreased with the addition of papain enzyme. Collagen peptide with a pH close to neutral, namely 6.98, was produced by the P0 treatment, while the lowest pH, namely 6,32, was produced by the P3 treatment. Furthermore, from the results of the proximate analysis, the highest protein content as the main component of collagen was produced by the P3 treatment of 93,01%, with a water content of 3,25%, ash content of 1,56%, and fat content of 0,98%. These results are in accordance with SNI 8076:2014 concerning the Quality of Collagen from Fish Scales. FTIR analysis of treatment P3 identified the following functional groups: amide A at 3639.69 cm^{-1}, amide B at 2920.23 cm^{-1}, amide I at 1639.42 cm^{-1}, amide II at 1534.18 cm^{-1}, and amide III at 1232.52 cm^{-1}. The ratio of amide III absorbance to the 1450 cm^{-1} band—an indicator of collagen structural changes resulting from hydrolysis—was found to be 0,85, confirming the successful enzymatic hydrolysis of collagen into collagen peptides.

Keywords: *Collagen Peptides, Fish Scales, Hydroextraction, Papain Enzyme*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh konsentrasi enzim papain terhadap karakteristik fisikokimia kolagen peptida dari sisik ikan kakap merah *(Lutjanus malabaricus)* menggunakan metode hidroekstraksi-enzimatis. Metode hidrokekstraksi dilaporkan pada penelitian sebelumnya berhasil memangkas waktu ekstraksi

ISSN : 2621 - 1475

kolagen menjadi 7 jam, namun rendemen yang dihasilkan rendah sehingga kurang efektif diaplikasikan di dunia industri. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan metode hidroekstraksi dengan penambahan enzim papain dengan 4 perlakuan, yaitu tanpa penambahan enzim papain (P0), enzim papain 5% (P1), enzim papain 10% (P2), dan enzim papain 15% (P3). Kolagen peptida hasil ekstraksi selanjutnya dikarakterisasi fisikokimia dengan menghitung nilai rendemen, derajat keasaman (pH), dan analisis proksimat meliputi kadar air, abu, protein, dan lemak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan enzim papain berpengaruh nyata terhadap nilai rendemen berdasarkan hasil analisis statistik DMRT. Pada penelitian ini, rendemen tertinggi dihasilkan oleh perlakuan P3 yaitu 38,34%, Derajat keasaman kolagen peptida mengalami penurunan seiring penambahan enzim papain. Kolagen peptida dengan pH mendekati netral yaitu 6,98 dihasilkan oleh perlakuan P0, sedangkan pH terendah yaitu 6,32 dihasilkan oleh perlakuan P3. Selanjutnya dari hasil analisis proksimat, kadar protein tertinggi sebagai komponen penyusun utama kolagen dihasilkan oleh perlakuan P3 sebesar 93,01%, dengan kadar air 3,25%, kadar abu 1,56%, dan kadar lemak 0,98%. Hasil ini sesuai dengan SNI 8076:2014 tentang Mutu Kolagen dari Sisik Ikan. Hasil analisis FTIR pada perlakuan P3 mengidentifikasi gugus fungsi amida A pada pita 3639,69 cm^{-1}, amida B pada pita 2920,23 cm^{-1}, amida I pada pita 1639,42 cm^{-1}, amida II pada pita 1534,18 cm^{-1}, dan amida III pada pita 1232,52 cm^{-1}. Rasio absorbansi amida III terhadap pita 1450 cm^{-1} sebagai indikator perubahan struktur kolagen akibat hidrolisis didapatkan dengan nilai 0,85 yang mengonfirmasi kolagen berhasil dihidrolisis secara enzimatis menjadi kolagen peptida.

Kata Kunci: *Enzim Papain, Hidrokekstraksi, Kolagen Peptida, Sisik Ikan*

PENDAHULUAN

Dalam 5 tahun terakhir, tren konsumsi ikan dan makanan laut mengalami peningkatan secara global. Laporan terbaru dari *Food and Agriculture Organization* (FAO) tahun 2024 menunjukkan konsumsi ikan per kapita pada tahun 2022 mencapai 20,7 kg dan diprediksi mencapai 21,5 kg pada tahun 2030 (Di Blase & Marchisio, 2024). Profil nutrisi yang lengkap pada ikan seperti protein, asam lemak esensial omega 3, vitamin, dan mineral, menjadi pilihan untuk diet sehat dan pemenuhan gizi manusia secara global (Szopa *et al.,* 2025). Tingginya kebutuhan ikan di pasar global meningkatkan nilai ekspor ikan filet dalam beberapa tahun terakhir. Menurut data perdagangan internasional, ekspor ikan filet dari Indonesia mencapai 95.404 ton dengan nilai mencapai 10,69 triliun rupiah (*World Bank – World Integrated Trade Solution* (WITS), 2023*)*. Bahkan, menurut portal perdagangan global *Observatory of Economic Complexity* (OEC) tahun 2023 Indonesia menempati peringkat ke-11 sebagai negara eksportir ikan filet terbesar di dunia (*The Observatory of Economic Complexity* (OEC), 2023). Data ini menunjukkan besarnya potensi perikanan Indonesia yang berhasil diolah menjadi ikan filet dengan peningkatan nilai ekonomi.

Di sisi lain, proses filet menghasilkan limbah yang beragam seperti kulit, potongan daging, jeroan, kepala, tulang, dan sisik ikan. Volume limbah berkisar antara 20-80% dari bobot ikan segar bergantung pada jenis dan metode filet yang digunakan (Vaishnav *et al.,* 2025). Padahal, limbah ikan banyak mengandung minyak, protein, dan peptida yang memiliki sifat antioksidan, antiinflamasi, antihipertensi, dan antibakteri (Sahana *et al.,* 2025; Vaishnav *et al.,* 2025). Namun, selama ini limbah ikan hanya dibuang ke perairan sehingga berpotensi menyebabkan autolisis dan menghasilkan fragmen protein rusak seperti H_2S, amonia, indol, skatol, dan lainnya yang memicu peningkatan emisi gas rumah kaca (Abun *et al.,* 2025).

Salah satu profil nutrisi dalam limbah ikan adalah kolagen. Pemanfaatan limbah ikan menjadi kolagen merupakan salah satu contoh praktik penerapan ekonomi sirkular di mana limbah yang sebelumnya tidak bernilai diolah kembali hingga menjadi produk bernilai tambah dan ramah lingkungan (Firmansyah & Liviawaty, 2025; Susilo, 2023). Hal ini dibuktikan dengan hasil yang dilaporkan sebelumnya di mana keberadaan kolagen sebagai protein struktural utama pada vertebrata mencapai 30% (Cahyono & Trilaksani, 2022). Kolagen merupakan salah satu jenis protein berbentuk fibrous penyusun jaringan ikat yang banyak ditemukan pada tendon, tulang, kulit, gigi, dan kornea mata (Kirana, 2023). Selain bersumber dari ikan, kolagen juga dapat diekstraksi dari mamalia seperti sapi dan babi (Ahmad *et al.,* 2023). Kolagen ikan juga dinilai lebih aman karena terbebas dari risiko penyakit zoonis mamalia (Ahmad *et al.,* 2023; Arsyaningrum, 2024). Selain itu, dari segi kehalalan, kolagen ikan juga lebih terjamin kehalalannya sehingga dapat menjadi kandidat potensial untuk aplikasi di bidang pangan dan farmasi. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah sisik ikan menjadi kolagen

ISSN : 2621 - 1475

merupakan solusi alternatif yang memberikan nilai tambah ekonomi berbasis pendekatan ilmiah.

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian kolagen dengan berbagai metode ekstraksi telah banyak dilakukan. Metode yang umum digunakan untuk mengekstraksi kolagen adalah metode asam yang sebelumnya diberi perlakuan basa untuk menghilangkan protein non-kolagen (Reinaldi *et al.,* 2024). Penelitian yang dilakukan oleh Ramadani *et al.* (2024) menunjukkan bahwa ekstraksi kolagen dari sisik ikan Julung-Julung *(Hemiramphus sp.)* dengan metode asam menghasikan rendemen maksimal hanya 3,57%. Penelitian lain yang menggunakan kulit ikan parang-parang dengan metode basa juga menghasilkan rendemen hanya sebesar 2,61% (Safithri *et al.,* 2019). Penelitian-penelitian lain juga menunjukkan rendemen yang dihasilkan dengan metode asam atau basa rata-rata sebesar 3%. Selain nilai rendemen yang kecil, metode konvensional menggunakan pelarut asam atau basa memerlukan waktu ekstraksi 48-72 jam. Untuk skala industri, rendemen yang relatif kecil dengan waktu ekstraksi relatif lama kurang efektif dari segi produktivitas produksi.

Penelitian terbaru untuk memangkas waktu ekstraksi telah dilakukan (Mayangsari & Mahasri, 2025). Penelitian tersebut mengekstraksi kolagen nanopartikel dari sisik ikan kakap merah *(Lutjanus malabaricus)* dengan metode hidroekstraksi. Ekstraksi dimulai dengan deproteinasi untuk menghilangkan protein non-kolagen menggunakan NaOH 0,1 M selama 3 jam, dilanjutkan dengan hidrolisis menggunakan asam asetat 1 M, 1,5 M, dan 2 M selama 2 jam. Langkah berikutnya sampel dicuci hingga pH netral sebelum dilakukan hidroekstraksi. Metode hidroekstraksi dilakukan dengan memasukkan sampel hasil hidrolisis ke dalam air suling menggunakan *incubator shaker* dengan kecepatan 150 rpm pada suhu 40°C selama 2 jam. Filtrat dari hasil hidroekstraksi merupakan kolagen basah. Dari hasil penelitian tersebut, didapatkan waktu yang diperlukan untuk ekstraksi kolagen dari sisik ikan kakap merah adalah 7 jam. Rendemen terbaik diperoleh dari perlakuan asam asetat 2 M sebesar 2,60% dengan kadar protein 76,30%. Dari segi efektivitas waktu, metode hidroekstraksi terbukti singkat, namun rendemen yang dihasilkan relatif kecil.

Berdasarkan uraian di atas, penting untuk memodifikasi metode hidroekstraksi agar tercapai waktu ekstraksi yang relatif singkat dengan rendemen lebih tinggi. Penelitian ini menawarkan solusi dengan menggabungkan dua metode, yaitu hidroekstraksi dan enzimatis. Keunggulan metode enzimatis dibandingkan metode asam atau basa secara teoritis lebih efektif dalam menghidrolisis substrat sehingga dapat meningkatkan rendemen dan mempercepat reaksi tanpa ikut bereaksi. Selain itu, ekstraksi secara enzimatis juga cenderung lebih aman serta meminimalisir dampak kerusakan lingkungan (Herdyastuti, 2024; Widagdo, 2016). Salah satu enzim yang dapat digunakan adalah enzim papain. Menurut beberapa literatur, enzim papain memiliki beberapa keunggulan yaitu lebih tahan terhadap panas dan memiliki kisaran pH yang luas dibanding enzim protease dari hewan maupun mikroorganisme lain (Widagdo, 2016; Yana & Permatasari, 2022). Selain dapat meningkatkan rendemen dengan waktu relatif singkat, perlakuan enzim papain dapat menghidrolisis kolagen menjadi fragmen peptida yang lebih pendek yang disebut dengan kolagen peptida (Sanjaya, 2022).

Morfologi kolagen utuh *(native collagen)* dimulai dengan tiga rantai polipeptida yang membentuk tropokolagen atau *triple helix* kemudian berasembel menjadi fibril berpita**.** Kolagen peptida memiliki keunggulan dibandingkan kolagen utuh yaitu ukuran partikelnya lebih kecil, sifat larut air yang lebih baik, serta lebih mudah diserap tubuh (Purnama & Astuti, 2023; Sanjaya, 2022). Beberapa penelitian sebelumnya telah membuktikan keunggulan kolagen peptida dibandingkan dengan kolagen utuh dalam hal meningkatkan hidrasi dan elastisitas kulit, mempercepat proses penyembuhan luka dan mempercepat proses pemulihan pasca-cedera atau operasi (Herawati *et al.,* 2023; Rahman *et al.,* 2021). Kebaruan penelitian ini dibandingkan penelitian sebelumnya adalah menggunakan metode hidroekstraksi-enzimatis dengan variasi konsentrasi enzim papain untuk menghasilkan kolagen peptida dari sisik ikan kakap merah. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan rendemen tinggi dalam waktu relatif singkat sehingga berpotensi diaplikasikan dalam dunia industri.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan pada penlitian ini adalah sisik ikan kakap merah yang didapatkan dari PT. Bee Jay Seafood di Kota Probolinggo. Bahan kimia yang digunakan pada penelitian ini antara lain akuades, NaOH (Merck CV. Nura Gemilang, Malang), CH_3COOH (Merck CV. Nura Gemilang, Malang), NaCl (Merck CV. Nura Gemilang, Malang), dan enzim papain (Shaanxi Fonde Biotech, Tristan Lab, Bogor). Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *freeze drying* (GEA DLF-04, Jerman), pH meter (Trans Instruments Aqua-pal tester, Singapura), kertas saring, dan Scanning Electron Microscopy (SEM) (Jeol JSM 6510LA, Japan).

ISSN : 2621 - 1475

Metode

Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 4 perlakuan penambahan enzim papain yaitu P0 (0%), P1 (5%), P2 (10%), dan P3 (15%). Masing-masing perlakuan dengan 3 kali pengulangan.

Prosedur Penelitian

Ekstraksi kolagen dimulai dengan pencucian sisik ikan dengan air mengalir untuk menghilangkan sisa daging dan kotoran yang tersisa. Selanjutnya dilakukan deproteinasi menggunakan larutan NaOH 0,05 M dengan perbandingan 1:10 (b/v) pada suhu ruang selama 3 jam dengan mengganti larutan setiap 1 jam. Tahap berikutnya sisik ikan dicuci dengan air mengalir hingga pH netral kemudian dihidrolisis menggunakan larutan asam asetat 2 M dengan perbandingan 1:10 (b/v) selama 2 jam pada suhu ruang. Selanjutnya sisik ikan dibersihkan hingga pH netral dan diekstraksi menggunakan akuades dengan penambahan enzim papain 0% (P0), 5% (P1); 10% (P2); dan 15% (P3), sebelum dimasukkan ke dalam *incubator shaker.* Selanjutnya hidroekstraksi-enzimatis dilakukan menggunakan *incubator shaker* pada suhu 40°C dengan kecepatan 150 rpm selama 2 jam. Filtrat hasil ekstraksi dikeringkan menggunakan *freeze dryer* untuk selanjutnya dilakukan karakterisasi.

A. Parameter Uji

Pengukuran Rendemen

Rendemen merupakan persentase hasil ekstraksi suatu senyawa terhadap bahan baku awal (Mayangsari & Mahasri, 2025; Paudi *et al.,* 2020). Rendemen kolagen pada penelitian ini didapatkan dengan menghitung persentase berat sebuk kolagen hasil ekstraksi terhadap berat sisik ikan yang digunakan seperti pada persamaan (1). Penentuan rendemen kolagen penting dilakukan karena dapat menunjukkan efektivitas bahan baku dan metode ekstraksi sehingga dapat menjadi pertimbangan dalam memberikan informasi nilai ekonomi kolagen hasil ekstraksi.

$$Rendemen\ kolagen\ (\%) = \frac{Bobot\ kolagen\ hasil\ ekstarksi\ \ (g)}{Bobot\ sisik\ ikan\ awal\ (g)} x\ 100\% \quad (1)$$

Pengukuran Derajat Keasaman (pH)

Pengukuran pH kolagen pada penelitian ini dilakukan dengan metode pengukuran langsung menggunakan pH meter digital. Tahapan pengukuran dimulai dengan melarutkan sampel kolagen sebanyak 1 g ke dalam 100 ml akuades sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu ruang selama 30 menit hingga homogen. Larutan kolagen yang telah homogen didiamkan selama 5 menit sebelum dilakukan pengukuran. Selanjutnya, elektroda pH meter dikalibrasi menggunakan buffer standar pH 4, 7, dan 10 sebelum dicelupkan ke dalam larutan. Nilai pH dari masing-masing larutan dicatat setelah pembacaan menunjukkan kondisi stabil. Untuk mendapatkan hasil yang akurat, pengukuran dilakukan dengan 3 kali pengulangan (Prastyo & Trilaksani, 2020; Reinaldi *et al.,* 2024).

Analisis proksimat

Analisis proksimat merupakan metode analisis kimia yang secara umum digunakan untuk menentukan komposisi makronutrien utama meliputi protein, lemak, air, dan abu dalam suatu bahan (Dwijayanti *et al.,* 2023a). Analisis proksimat kolagen mengacu pada SNI 8076:2014 tentang karakteristik kolagen sisik ikan.

Kadar air

Untuk menentukan kadar air pada kolagen peptida, langkah pertama cawan porselin dikeringkan dalam oven pada suhu 105ºC selama 55 menit kemudian didinginkan dalam desikator selama 20 menit lalu ditimbang hingga mencapai berat konstan. Kolagen diitimbang sebanyak 1 g dalam cawan dan dikeringkan dalam oven pada suhu 105 ºC selama 8 jam, lalu dimasukkan ke dalam desikator selama 20 menit dan ditimbang hingga mencapai berat konstan. Perhitungan kadar air mengikuti persamaan (2) (Dwijayanti *et al.,* 2023a; Thiex *et al.,* 2012).

$$K1 = Kadar\ air\ (\%) = \frac{(W1-W2)}{(W1-W0)} x\ 100\% \quad (2)$$

Keterangan:
W0 : Berat cawan kosong
W1 : Berat cawan + sampel sebelum pengeringan
W2 : Berat cawan + sampel setelah pengeringan

Kadar abu

Untuk menentukan kadar abu, langkah awal yang dilakukan seperti pada penentuan kadar air. Cawan porselin dikeringkan dalam oven pada suhu 105ºC selama 55 menit, didinginkan dalam desikator selama 20 menit lalu ditimbang hingga mencapai berat konstan. Kolagen ditimbang sebanyak 1 g dalam cawan kemudian dipijarkan di atas nyala api kompor listrik hingga tidak berasap dan dimasukkan ke dalam *furnace* pada suhu 550ºC selama

ISSN : 2621 - 1475

150 menit. Abu hasil furnace dimasukkan ke dalam desikator selama 20 menit dan ditimbang hingga mencapai berat konstan. Perhitungan kadar abu mengikuti persaman (3) (Dwijayanti *et al.,* 2023a; Thiex *et al.,* 2012).

$$K2 = Kadar\ abu = \frac{W1-W2}{W0} x\ 100\% \quad (3)$$

Keterangan:
W0 : Berat cawan kosong
W1 : Berat cawan + sampel sebelum pengeringan
W2 : Berat cawan + sampel setelah pengeringan

Kadar protein

Penentuan kadar protein dilakukan dengan uji Kjeldahl. Langkah pertama kolagen ditimbang sebanyak 0,50 g lalu dimasukkan ke dalam labu kjeldahl 100 mL dan ditambahkan selenium mix 1 g dan 8 mL H_2SO_4 pekat secara perlahan. Kolagen didestruksi pada suhu 450°C selama 55 menit hingga larutan berwarna kuning jernih, lalu didinginkan. Selanjutnya distilasi dengan menggunakan alat Foss, lalu dicatat hasil analisis yang diperoleh. Nitrogen total yang diperoleh dari hasil destruksi, destilasi, dan titrasi dikonversi menjadi kadar protein menggunakan faktor konversi 5,55. Pemilihan faktor konversi 5,55 dikarenakan sampel yang dianalisis merupakan kolagen yang memiliki komposisi asam amino dan kandungan nitrogen berbeda dengan protein umum. Faktor konversi tersebut lebih representatif untuk analisis protein kolagen dibandingkan faktor umum 6,25. Persentase nitrogen dan kadar protein dihitung menggunakan persamaan (4) dan (5).

$$\%N = \frac{(Vs-Vb)\ x\ N\ x\ 14{,}007\ x\ 100}{W\ x\ 1000} \quad (4)$$

$$K3 = Kadar\ protein = \%N \times F \quad (5)$$

Keterangan:
%N : Kadar nitrogen total (%)
Vs : Volume larutan H_2SO_4 yang digunakan untuk titrasi sampel (ml)
Vb : Volume larutan H_2SO_4 yang digunakan untuk titrasi blanko (ml)
N : Normalitas larutan H_2SO_4 standar (N)
W : Berat sampel (mg)
F : Faktor konversi

Kadar lemak

Kolagen ditimbang sebanyak 2 g kemudian dimasukkan ke dalam klonsong sokhlet dan diekstraksi mengguakan pelarut n-heksan. Ekstrak n-heksan yang diperoleh kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 100ºC selama 60 menit. Perhitungan kadar lemak mengikuti persamaan (6) (Dwijayanti *et al.,* 2023a; Thiex *et al.,* 2012).

$$K4 = Kadar\ lemak = \frac{Bobot\ lemak\ terekstrak}{Bobot\ kolagen} x100\% \quad (6)$$

Analisis FTIR

Analisis FTIR merupakan metode pengukuran untuk mengetahui gugus fungsi kolagen. Pengukuran dilakukan pada bilangan gelombang 400-4.000/cm (Mberato *et al.,* 2020). Gugus-gugus fungsi kolagen ditentukan berdasarkan puncak serapan bilangan gelombang yang terdeteksi dengan wilayah serapan untuk gugus fungsi protein.

B. Analisis Data

Data hasil pengukuran rendemen, pH, kadar air, kadar abu, kadar protein, dan kadar lemak dianalisis menggunakan ANOVA pada taraf signifikansi 5%. Apabila terdapat perbedaan nyata, analisis dilanjutkan dengan uji DMRT untuk mengetahui perbedaan antarperlakuan. Perangkat lunak analisis statistik ini menggunakan IBM SPSS Statistics.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil penelitian terkait pengaruh penambahan enzim papain dengan 4 perlakuan yaitu P0, P1, P2, dan P3 terhadap rendemen, pH, dan komposisisi proksimat kolagen ditunjukkan oleh Tabel 1, 2, dan 3.

Tabel 1. Rendemen Kolagen Berdasarkan Variasi Konsentrasi Enzim Papain

Perlakuan	Nilai (%) ± SD
P0	5.23 [a] ±0.17
P1	13.10 [b] ±0.11
P2	29.75 [c] ±0.12
P3	38.34 [d] ±0.10

Sumber: Data diolah (2026)
Keterangan: Angka-angka yang diikuti dengan notasi huruf yang berbeda menunjukkan berbeda nyata berdasarkan uji DMRT ($p<0.05$).

ISSN : 2621 - 1475

Tabel 2. Pengukuran pH Kolagen Berdasarkan Variasi Konsentrasi Enzim Papain

Perlakuan	Nilai pH
P0	6.98 [a] ±0.06
P1	6.46 [b] ±0.04
P2	6.39 [b] ±0.02
P3	6.32 [b] ±0.02

Sumber: Data diolah (2026)

Keterangan: Angka-angka yang diikuti dengan notasi huruf yang berbeda menunjukkan berbeda nyata berdasarkan uji DMRT ($p<0.05$).

Tabel 3. Analisis Proksimat Kolagen Berdasarkan Variasi Konsentrasi Enzim Papain

Parameter	P0	P1	P2	P3
Kadar air/Moisture (%)	3.85 [a] ± 0.08	3.63 [a] ± 0.07	3.45 [a] ± 0.05	3.25 [a] ± 0.02
Kadar abu/Ash (%)	3.14 [a] ± 0.06	2.11 [c] ± 0.05	1.63 [b] ± 0.03	1.56 [b] ± 0.02
Protein (%)	83.35 [d] ± 0.12	90.24 [c] ± 0.10	91.36 [b] ± 0.09	93.01 [a] ± 0.08
Lemak (%)	2.54 [a] ± 0.08	2.47 [a] ± 0.07	2.25 [b] ± 0.05	0.98 [c] ± 0.04

Sumber: Data diolah (2026)

Keterangan: Huruf superskrip berbeda pada baris yang sama menunjukkan berbeda nyata berdasarkan uji DMRT ($p < 0.05$).

Pembahasan

Rendemen kolagen

Rendemen merupakan persentase hasil ekstraksi suatu senyawa terhadap bahan baku awal (Mayangsari & Mahasri, 2025; Paudi *et al.,* 2020). Nilai rendemen menunjukkan efektivitas suatu bahan yang dapat memberikan informasi nilai ekonomi senyawa hasil ekstraksi (Wijaya *et al.,* 2022). Hasil perhitungan rendemen kolagen yang diekstraksi dari sisik ikan menggunakan metode enzimatis dengan perlakuan P0, P1, P2, dan P3 ditunjukkan pada Tabel 1.

Dari Tabel 1, rendemen paling rendah yaitu 5,23% dihasilkan oleh kelompok kontrol P0 dengan konsentrasi enzim papain 0%. Hal ini dikarenakan tidak ada pemutusan ikatan silang pada struktur kolagen sehingga kolagen sulit larut. Pada perlakuan P1 dengan konsentrasi enzim papain 5%, rendemen mulai meningkat menjadi 13,10%. Hal ini dikarenakan enzim papain mulai memutus ikatan polipeptida yang menghubungkan fibril kolagen. Pada perlakuan P2 dengan konsentrasi enzim papain 10%, rendemen mengalami peningkatan lebih tinggi menjadi 29,75% yang menunjukkan difusi kolagen ke dalam larutan semakin optimal. Pada perlakuan P3 dengan konsentrasi enzim papain 15%, rendemen yang dihasilkan mencapai persentase tertinggi yaitu 38,34%. Perlakuan P3 menghasilkan rendemen tertinggi pada rentang konsentrasi enzim yang diuji dalam penelitian ini.

Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa konsentrasi enzim papain berpengaruh nyata terhadap nilai rendemen (Afifah *et al.,* 2024; Rahmawati *et al.,* 2024). Peningkatan rendemen seiring peningkatan konsentrasi enzim papain disebabkan oleh ikatan peptida yang berhasil diputus sehingga kolagen lebih mudah larut dan terekstraksi (Cahyono *et al.,* 2018; Cahyono & Trilaksani, 2022). Total waktu ekstraksi kolagen dalam penelitian ini adalah 7 jam dengan rendemen tertinggi 38,34%. Untuk keperluan industri, metode hidroekstraksi-enzimatis dapat menjadi pertimbangan karena dapat memangkas waktu ekstraksi dan meningkatkan rendemen.

Pengukuran Derajat Keasaman (pH)

Penambahan enzim papain menurunkan pH kolagen secara nyata dibandingkan kontrol P0, tetapi perbedaan antara perlakuan P1, P2, dan P3 tidak menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan uji DMRT.

Pada perlakuan P0, pH mendekati netral karena struktur kolagen masih utuh dan belum terhidrolisis. Peningkatan konsentrasi enzim papain pada perlakuan P1 dan P2 menunjukkan mulai terjadi pemutusan rantai polipeptida menjadi peptida dengan peningkatan gugus -COOH yang menyebabkan pH menurun. Pada perlakuan P3 dengan konsentrasi enzim tertinggi yaitu 15%, ikatan polipeptida berhasil dihidrolisis membentuk peptida berukuran pendek dan menunjukkan pH semakin menurun mendekati asam. Walaupun mengalami penurunan pH, penggunaan enzim papain masih mampu menghasilkan pH kolagen yang lebih tinggi dibandingkan dengan enzim protease lain seperti bromelain yaitu 5.97 (Huma, 2018; Rahmawati *et al.,* 2024). Hal ini disebabkan oleh karakteristik enzim papain yang bekerja optimal pada pH netral hingga sedikit basa, sehingga menghasilkan fragmen protein yang tidak terlalu bersifat asam (Rahmawati *et al.,* 2024).

Komposisi Proksimat

Setelah dilakukan uji rendemen, kolagen serbuk hasil ekstraksi selanjutnya dilakukan analisis proksimat untuk mengetahui kadar air, abu, protein, dan lemak. Parameter dalam analisis proksimat bersifat krusial untuk menentukan

ISSN : 2621 - 1475

mutu kolagen. Berikut merupakan hasil analisis untuk masing-masing parameter.

Kadar Air

Kadar air merupakan parameter penting yang memberikan informasi terkait stabilitas dan mutu kolagen. Standar kadar air pada kolagen sisik ikan menurut SNI 8076:2014 adalah 16% (Utami, 2023). Kadar air yang rendah dapat mencegah pertumbuhan mikroorganisme dan degradasi protein (Dwijayanti *et al.,* 2023a).

Pada penelitian ini kadar air kolagen yang dihasilkan oleh masing-masing konsentrasi enzim papain ditunjukkan pada Tabel 3. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan enzim papain tidak berpengaruh nyata terhadap kadar air kolagen yang dihasilkan dari metode hidroekstraksi-enzimatis. Namun, dari semua perlakuan, kadar air kolagen yang dihasilkan memenuhi SNI sehingga layak diaplikasikan dalam bidang pangan, farmasi, ataupun kosmetik. Hal ini menunjukkan keberhasilan pengeringan kolagen menggunakan metode *freeze drying*.

Kadar Abu

Salah satu parameter penting untuk memastikan higienitas kolagen adalah kadar abu, terutama jika akan diaplikasikan sebagai produk pangan dan farmasi. Kadar abu merupakan residu mineral anorganik setelah bahan organik dibakar (dekomposisi). Mengacu pada SNI 8076:2014, kadar abu kolagen sisik atau kulit ikan ditetapkan maksimal 3,25%.

Hasil penelitian menunjukkan pada perlakuan P0 dengan konsentrasi enzim papain 0%, kadar abu yang dihasilkan sebesar 3,14%. Selanjutnya pada perlakuan P1 dengan konsentrasi enzim papain 5%, menghasilkan kadar abu sebesar 2,11%. Pada perlakuan P2 dengan konsentrasi enzim papain 10%, kadar abu yang dihasilkan sebesar 1,63%. Terakhir pada perlakuan P3 dengan konsentrasi enzim papain 15%, kadar abu yang dihasilkan sebesar 1,56%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan enzim papain berpengaruh nyata terhadap kadar abu kolagen yang dihasilkan dari metode hidroekstraksi-enzimatis. Tanpa penambahan enzim papain, kadar abu yang dihasilkan lebih tinggi dikarenakan struktur kolagen masih berikatan kuat dengan protein non-kolagen, mineral, dan kalsium yang tertinggal dalam sisik ikan (Rahmawati *et al.,* 2024). Dengan penambahan enzim papain 5%, kadar abu mengalami penurunan dibandingkan dengan perlakuan tanpa enzim papain. Demikian pula ketika ditambahkan enzim papain 10% dan 15%, terjadi penurunan kadar abu yang menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah mineral yang tereduksi. Dari semua perlakuan, kadar abu kolagen yang dihasilkan memenuhi SNI sehingga layak diaplikasikan dalam bidang pangan, farmasi, ataupun kosmetik. Hasil ini membuktikan bahwa terjadi penurunan residu mineral selama proses ekstraksi, sehingga dapat disimpulkan bahwa metode hidroekstraksi-enzimatis berjalan efektif.

Kadar Protein

Protein merupakan komponen utama penyusun kolagen yang terdiri dari rantai panjang asam amino yang saling terhubung melalui ikatan peptida (Jafari *et al.,* 2020; Karlina *et al.,* 2025). Berdasarkan SNI 8076:2014, kadar protein yang disyaratkan pada kolagen ikan minimal 75%.

Kadar protein pada penelitian ini ditentukan menggunakan metode Kjeldahl sesuai AOAC (Thiex *et al.,* 2012). Metode ini meliputi tahap destruksi menggunakan H_2SO_4 pekat dan katalis, diikuti proses destilasi amonia hasil destruksi dan titrasi dengan larutan H_2SO_4 standar. Persentase nitrogen total dihitung berdasarkan volume titrasi, kemudian dikonversi menjadi kadar protein menggunakan faktor konversi 5,55 dengan protein rata-rata mengandung sekitar 16% nitrogen.

Hasil penelitian menunjukkan pada perlakuan P0 tanpa penambahan enzim papain, kadar protein yang dihasilkan sebesar 83,35%. Selanjutnya pada perlakuan P1 dengan konsentrasi enzim papain 5%, menghasilkan kadar protein yang lebih tinggi mencapai 90,24%. Pada perlakuan P2 dengan konsentrasi enzim papain 10%, kadar protein yang dihasilkan sebesar 91,36%. Terakhir pada perlakuan P3 dengan konsentrasi enzim papain 15%, menghasilkan kadar protein tertinggi sebesar 93,01%.

Peningkatan kadar protein seiring peningkatan enzim papain menunjukkan bahwa enzim papain berpengaruh nyata terhadap efektivitas ekstraksi kolagen (Rahmawati & Nurjanah, 2020; Utami *et al.,* 2024). Papain sendiri merupakan enzim protease yang mampu memecah ikatan peptida melalui proses hidrolisis, termasuk pada daerah non-heliks (telopeptida) kolagen (Novitasari & Novitasari, 2021). Tanpa penambahan enzim papain, struktur kolagen masih terikat kuat dengan protein non-kolagen, mineral, dan ikatan silang intermolekuler yang mengakibatkan kolagen sulit larut dan tidak terekstraksi seluruhnya. Terlihat pada penambahan enzim papain, kadar protein meningkat dan berbeda nyata dengan perlakuan tanpa enzim papain. Perbedaan ini menunjukkan bahwa enzim papain berhasil memutus ikatan protein yang mengikat matriks jaringan sehingga struktur fibril kolagen menjadi lebih terbuka. Hal ini mengakibatkan peningkatan penetrasi pelarut ke dalam jaringan sehingga jumlah kolagen yang terlepas ke dalam larutan ekstraksi semakin besar.

Enzim papain juga memiliki kemampuan mengurangi komponen pengotor non-protein seperti lemak, mineral,

ISSN : 2621 - 1475

pigmen, dan zat pengotor lain selama proses ekstraksi (Rahmawati & Nurjanah, 2020). Dari hasil penelitian diketahui bahwa semakin tinggi konsentrasi enzim papain semakin meningkat aktivitas hidrolisis yang melepas jaringan pengikat sehingga diperoleh kolagen peptida dengan kadar protein yang lebih tinggi. Selain itu, papain juga dikenal sebagai enzim yang bekerja optimal pada suhu ruang dengan pH mendekati netral (Iskandar, 2022). Namun, perlu penelitian lebih lanjut untuk membuktikan peningkatan kadar protein pada konsentrasi enzim papain yang lebih tinggi dari 15% karena dikhawatirkan terjadi over-hidrolisis.

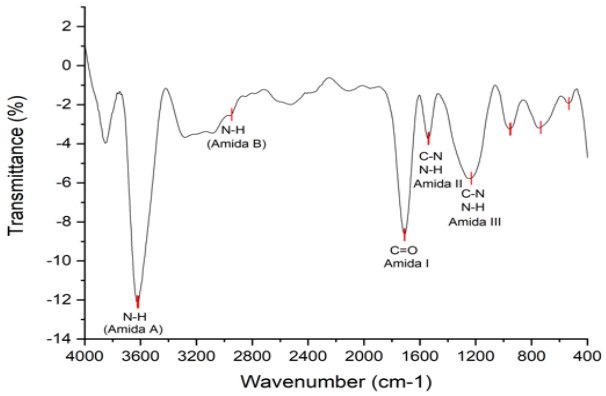
Kadar Lemak

Kadar lemak merupakan jumlah total lemak kasar dalam suatu bahan yang merepresentasikan stabilitas oksidatif dan umur simpan (Fauzi, 2024). Mengacu pada SNI 8076:2014, kadar lemak yang disyaratkan pada kolagen ikan maksimal 1%. Hasil penelitian menunjukkan pada perlakuan P0 tanpa penambahan enzim papain, kadar lemak yang dihasilkan sebesar 2.54%. Selanjutnya pada perlakuan P1 dengan konsentrasi enzim papain 5%, menghasilkan kadar lemak yang lebih rendah yaitu 2.47%. Pada perlakuan P2 dengan konsentrasi enzim papain 10%, kadar lemak yang dihasilkan sebesar 2.25%. Terakhir pada perlakuan P3 dengan konsentrasi enzim papain 15%, menghasilkan kadar lemak terendah sebesar 0.98%.

Penurunan kadar lemak dalam penelitian ini menunjukkan tidak berbeda nyata pada perlakuan P0 dan P1, sedangkan kadar lemak pada perlakuan P2 dan P3 menunjukkan berbeda nyata. Kadar lemak yang rendah mengindikasikan keberhasilan proses pemisahan lipid dari jaringan selama ekstraksi. Kadar lemak di bawah 1% dalam produk kolagen berperan penting dalam meningkatkan stabilitas oksidatif sehingga dapat memperpanjang umur simpan, sementara lemak yang tinggi dapat mempercepat proses oksidasi sehingga menimbulkan bau tengik (Dwijayanti *et al.,* 2023b). Hasil penelitian menujukkan kadar lemak yang rendah dengan penambahan enzim papain 15% dan sesuai dengan SNI.

Analisis FTIR

Uji *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi kolagen peptida yang dihasilkan dalam penelitian ini. Hasil uji FTIR ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Spektrum FTIR Kolagen Peptida Sisik Ikan Kakap Merah

Hasil analisis FTIR menunjukkan bahwa kolagen peptida yang dihasilkan memperlihatkan pita serapan khas protein kolagen. Gugus fungsi amida A terlihat pada puncak serapan 3639.69 cm^{-1}, amida B terlihat pada puncak serapan 2920.23 cm^{-1}, amida I pada puncak serapan 1639.42 cm^{-1}, amida II pada puncak serapan 1534.18 cm^{-1}, dan amida III pada puncak serapan 1232.52 cm^{-1}. Kolagen utuh memiliki ciri pita tajam sedangkan pada kolagen peptida mulai terjadi pergeseran puncak dan ditandai dengan penurunan intensitas (Mberato *et al.,* 2020).

Rasio absorbansi amida III terhadap pita 1450 cm^{-1} digunakan sebagai indikator perubahan struktur kolagen akibat hidrolisis (Muyonga *et al.,* 2004). Nilai rasio 0,85 atau kurang dari 1 menunjukkan terjadinya penurunan keteraturan struktur heliks sebagai akibat pemutusan sebagian ikatan peptida oleh enzim papain. Namun, keberadaan pita amida III yang masih terdeteksi mengindikasikan bahwa karakteristik kimia utama kolagen tetap terlihat meskipun telah mengalami hidrolisis menjadi kolagen peptida (Muyonga *et al.,* 2004).

Tabel 4. Karakteristik Gugus Fungsi Kolagen Peptida

Gugus Fungsi	Hasil Uji (cm^{-1})	Kolagen Standar (cm^{-1})*	Karakteristik Pita*
Amida A	3639.69	3440-3300	NH Stretching
Amida B	2920.23	2935-2915	Asymmetrical Stretch of CH_2
Amida I	1639.42	1690-1600	C=O Stretching
Amida II	1534.18	1575-1480	CN Stretching, NH Bending
Amida III	1232.52	1309-1229	NH Bending

*Sumber: (Mberato *et al.,* 2020)

ISSN : 2621 - 1475

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil melakukan ekstraksi kolagen peptida dengan metode hidroekstraksi-enzimatis. Variasi konsentrasi enzim papain yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, dan 15%. Penambahan enzim papain 15% merupakan perlakuan terbaik dalam penelitian ini dengan nilai rendemen 38,34%, pH 6,32, kadar protein 93,01%, kadar air 3,25%, kadar abu 1,56%, dan kadar lemak 0,98%. Karakteristik pada perlakuan ini sesuai dengan mutu kolagen yang disyaratkan oleh SNI 8076:2014.

DAFTAR PUSTAKA

Abun, A., Rusmana, D., Haetami, K., & Widjastuti, T. (2025). Evaluation of the nutritional value of fermented pangasius fish waste and its potential as a poultry feed supplement. *Veterinary World 18*, 355–366. https://doi.org/10.14202/vetworld.2025.355-366

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. *Indonesian Fisheries Processing Journal/Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, *27*(6).

Ahmad, F., Septiani, R. A., Aisyah, D., Cahyati, S. A., & Gunarti, N. S. (2023). Pemanfaatan Kolagen dari Hewan. *J. Buana Farma*, *3*, 24–32.

Arsyaningrum, A. Q. (2024). *I*solasi, Karakterisasi dan Formulasi Kolagen Dari Sisik Ikan Nila Terhadap Kualitas Sediaan Krim [Skripsi]. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.

Cahyono, E., Rahmatu, R., Ndobe, S., & Mantung, A. (2018). Ekstraksi dan karakterisasi gelatin tulang tuna pada berbagai konsentrasi enzim papain. *Jurnal Teknologi Hasil Perikanan*, *7*(2), 148–153. , http://ejournal.unsri.ac.id/index.php/fishtech.

Cahyono, H., & Trilaksani, W. (2022). Karakteristik Karakteristik Fisikokimia Papain Soluble Collagen dari Gelembung Renang Ikan Tuna *(Thunnus sp.). Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, *25*(1), 1–17. https://doi.org/10.17844/jphpi.v25i1.38213

Di, B. A., & Marchisio, S. (2024). *The Food and Agriculture Organization (FAO)* (Vol. 1). Martinus Nijhoff Publishers.

Dwijayanti, E., Munadi, R., & Farnatubun, M. W. (2023b). Analisis proksimat dan kolagen pada kulit ikan Tawassang *(Naso thynnoides). ILTEK: Jurnal Teknologi*, *18*(2), 103–107.

Fauzi, M. (2024). Analisis Vitamin Karbohidrat Dan Lemak Pada Makanan. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.

Firmansyah, S., & Liviawaty, E. (2025). Ekstraksi Kolagen Berbasis Limbah Perikanan untuk Industri Berkelanjutan. *Jurnal Penelitian Inovatif*, *5*(2), 1767–1772. https://doi.org/10.54082/jupin.1157

Herawati, E., Setyawan, V. A., & Listyawati, S. (2023). Peptida Kolagen Ikan Layang Biru *(Decapterus macarellus)* Mempercepat Penyembuhan Luka Pada Mencit. *J Pharm Sci*, *2*, 279. https://doi.org/10.20961/jpscr.v8i2.74260

Herdyastuti, N. (2024). Pengaruh Penambahan Enzim Papain Dari Kulit Pepaya Varietas Berbeda Terhadap Rendemen Dan Kualitas Vco. *Unesa Journal Of Chemistry*, *13*(1), 14–21.

Huma, J. F. D. (2018). Isolasi Dan Profil Protein Kolagen Sisik Ikan Gabus *(Channa Striata)* Dengan Enzim Bromelain [Thesis]. Malang: Universitas Brawijaya.

Iskandar, M. F. (2022). Pembuatan virgin coconut oil (VCO) secara enzimatis menggunakan enzim papain kulit pepaya [Skripsi]. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.

Jafari, H., Lista, A., Siekapen, M. M., Ghaffari-Bohlouli, P., Nie, L., Alimoradi, H., & Shavandi, A. (2020). Fish collagen: Extraction, characterization, and applications for biomaterials engineering. *Polymers*, *12*(10), 2230. 10.3390/polym12102230

Karlina, K., Asnani, A., & Wahyuni, S. (2025). Rendemen, Viskositas Dan Kekuatan Gel Gelatin Dari Teripang Hitam *(Holothuria Leucospilota)* Yang Diekstrak Menggunakan Asam Klorida. *Jurnal Fish Protech*, *8*(1), 65–71. https://doi.org/10.55679/jfp.v8i1.50664

Kirana, K. (2023). Oral collagen and aging. *Healthy Tadulako Journal (Jurnal Kesehatan Tadulako)*, *9*(2), 235–249. https://doi.org/10.22487/htj.v9i2.193

Mayangsari, C., & Mahasri, G. (2025). Ekstraksi Kolagen Sisik Ikan Kakap Merah *(Lutjanus malabaricus)* Berbasis Hidroekstraksi: Sediaan Pengembangan Nanokolagen. *Journal of Marine & Coastal Science*, *14*(2). 10.20473/jmcs.v14i2.72271

Mberato, S. P., Rumengan, I. F. M., Warouw, V., Wulur, S., Rumampuk, N. D. T., Undap, S. L., Suptijah, P., & Luntungan, A. H. (2020). Penentuan Struktur Molekul Kolagen Sisik Ikan Kakatua *(Scarus sp)* Berdasarkan Serapan Molekul Terhadap Gelombang FTIR (Fourier-Transform Infrared Spectroscopy Analysis). *Jurnal Pesisir Dan Laut Tropis*, *8*(1), 7–14. https://doi.org/10.35800/jplt.8.1.2020.27285

Muyonga, J. H., Cole, C. G. B., & Duodu, K. G. (2004). Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopic

study of acid soluble collagen and gelatin from skins and bones of young and adult Nile perch (*Lates niloticus*). *Food Chemistry*, *86*(3), 325–332. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.09.038

Novitasari, A. E., & Novitasari, A. E. (2021). Studi Literatur Pengaruh Enzim Protease (Papain, Bromelin Dan Protease Biduri) Terhadap Kadar Protein Pada Ikan Laut Menggunakan Metode Spektrofotometri Dan Kjedal. *Jurnal Sains 12*(1), 1–19. http://elibs.aakdelimahusadagresik.ac.id/id/eprint/34

Paudi, R., Sulistijowati, R., & Mile, L. (2020). Rendemen kolagen kulit ikan bandeng *(Chanos chanos)* segar hasil ekstraksi asam asetat. *Jambura Fish Processing Journal*, *2*(1), 21–27. https://doi.org/10.37905/jfpj.v2i1.5930

Prastyo, D. T., & Trilaksani, W. (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

Purnama, D. J. A., & Astuti, K. W. (2023). Efek nutrasetikal kolagen terhadap kesehatan Kulit. *Prosiding Workshop Dan Seminar Nasional Farmasi*, *2*, 1–15.

Rahman, V. R., Bratadiredja, M. A., & Saptarini, M.Si, Apt., N. M. (2021). Artikel Review: Potensi Kolagen sebagai Bahan Aktif Sediaan Farmasi. *Majalah Farmasetika*, *6*(3), 253. https://doi.org/10.24198/mfarmasetika.v6i3.33621

Rahmawati, H., Agustini, T. W., Dewi, E. N., & Trianto, A. (2024). Karakteristik Hidrolisat Kolagen Kulit Ikan Tenggiri Kering Dengan Enzim Papain. *Indonesian Fisheries Processing Journal/Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, *27*(12). https://doi.org/10.17844/jphpi.v27i12.55831

Rahmawati, R., & Nurjanah, S. (2020). Pengaruh konsentrasi enzim papain terhadap mutu gelatin bubuk dari tulang dan cakar ayam. *Jurnal Konversi 9(1).* https://doi.org/10.24853/konversi.9.1.14

Ramadani, D. A., Hermalena, L., & Salihat, R. A. (2024). Pengaruh Konsentrasi Asam Asetat Terhadap Karakteristik Kolagen Dari Sisik Ikan Julung-Julung *(Hemiramphus sp.)*. *Jurnal Research Ilmu Pertanian*, *4*(2), 173–182. https://doi.org/10.31933/b0ts7w60

Reinaldi, D., Viruly, L., & Oktavia, Y. (2024). Pembuatan Kolagen Dari Berunok *(Acaudina Molpadioides)* Dengan Ekstraksi Asam. *Marinade*, *7*(01), 63–67. https://doi.org/10.31629/marinade.v7i01.6930

Safithri, M., Tarman, K., Suptijah, P., & Widowati, N. (2019). Karakteristik fisikokimia kolagen larut asam dari kulit ikan parang-parang *(Chirocentrus dorab). Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, *22*(3), 441–452. journal.ipb.ac.id/index.php/jphpi

Sahana, M. D., Balange, A. K., Elavarasan, K., Layana, P., Xavier, K. A. M., Nayak, B. B., & Naidu, B. C. (2025). Molecular and Functional Analysis of Proteases Isolated from Tropical Fish Visceral Waste via a Cost-Effective Dual-Buffer Technique. *Waste and Biomass Valorization*, *16*(6), 3119–3129. https://doi.org/10.1007/s12649-024-02852-2

Sanjaya, R. A. (2022). Efektivitas Hidrolisis Enzimatis Kolagen Dalam Meningkatkan Bioavailabilitas Kolagen Sebagai Bahan Pangan Fungsional: Studi Literatur [Skripsi*]*. Semarang: Universitas Katholik Soegijapranata Semarang.

Susilo, R. F. N. (2023). Implementasi model ekonomi sirkuler dalam industri perikanan. *Jurnal Imagine*, *3*(2), 59–68.

Szopa, D., Wojtas, M., Różycka, M., Mironiuk, M., Dobryszycki, P., & Witek-Krowiak, A. (2025). Optimized waste-free valorization of fish processing by-products: Comparative insights into fertilizer production and collagen recovery. *Biomass and Bioenergy*, *201*, 108074. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2025.108074

The Observatory of Economic Complexity (OEC). (2023). *Indonesia—Fish Fillets (Frozen) Export Data, 2023*. The Observatory of Economic Complexity (OEC). https://oec.world/en/profile/bilateral-product/fish-fillets/reporter/idn

Thiex, N., Novotny, L., & Crawford, A. (2012). Determination of ash in animal feed: AOAC official method 942.05 revisited. *Journal of AOAC International*, *95*(5), 1392–1397. https://doi.org/10.5740/jaoacint.12-129

Utami, F. M. P. (2023). Isolasi Kolagen Dari Tulang Ikan Gurame (Osphronemus Goramy) Yang Diformulasikan Dalam Sediaan Minuman Serbuk Instan [Skripsi]. Tasikmalaya: Universitas BTH Tasikmalaya.

Utami, R., Trilaksani, W., & Hardiningtyas, S. D. (2024). Karakteristik Papain *Soluble Collagen* Gelembung Renang Ikan Manyung Dengan Variasi Praperlakuan Alkali Dan Rasio Ekstraktan. *Indonesian Fisheries Processing Journal/Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, *27*(3). 10.17844/jphpi.v27i3.49968

Vaishnav, A., Lal, J., Mehta, N. K., Mohanty, S., Yadav, K. K., Priyadarshini, M. B., Debbarma, P., Singh, N. S.,

ISSN : 2621 - 1475

Pati, B. K., & Singh, S. K. (2025). Unlocking the potential of fishery waste: Exploring diverse applications of fish protein hydrolysates in food and nonfood sectors. *Environmental Science and Pollution Research*. https://doi.org/10.1007/s11356-025-36244-3

Widagdo, G. T. (2016). Produksi Hidrolisat Kolagen Dari Sisik Ikan Gabus *(Channa Striata)* Secara Enzimatis (Kajian Konsentrasi Enzim Papain Dan Lama Ekstraksi) [Skripsi]. Malang: Universitas Brawijaya.

Wijaya, H., Jubaidah, S., & Rukayyah, R. (2022). Perbandingan metode esktraksi terhadap rendemen ekstrak batang turi *(Sesbania grandiflora L.)* dengan menggunakan metode maserasi dan sokhletasi. *Indonesian Journal of Pharmacy and Natural Product*, *5*(1), 1–11. https://doi.org/10.35473/ijpnp.v5i1.1469

World Bank – World Integrated Trade Solution (WITS). (2023). *Indonesia fish fillets exports (HS 030420) – 2023*. The World Bank. https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/IDN/year/2023/tradeflow/Exports/partner/ALL/product/030420

Yana, R., & Permatasari, S. (2022). *Pembuatan Isolat Papain dari Getah Buah Pepaya untuk Hidrolisis Protein Pada Pengembangan Metode Penambahan Materi Praktikum Biokimia Pepaya dengan nama latin Carica papaya L merupakan tanaman beriklim tropis , di hidrolase yang bersifat proteolitik dan p*. *9*(2). https://doi.org/10.32539/JKK.V9I2.16806