



KARAKTERISTIK HIDROLISAT KOLAGEN KULIT IKAN TENGGIRI KERING DENGAN ENZIM PAPAIN

Hafni Rahmawati^{1*}, Tri Winarni Agustini², Eko Nurcahya Dewi², Agus Trianto³

¹Teknologi Hasil Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Lambung Mangkurat
Jalan Jenderal A. Yani km 36 Banjarbaru Kalimantan Selatan Indonesia 70714

²Teknologi Hasil Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jalan Prof. Soedarto, SH., Tembalang, Semarang Jawa Tengah Indonesia 50275

³Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jalan Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah Indonesia 50275

Diterima: 30 Mei 2024/Disetujui: 12 Desember 2024

*Korespondensi: hafni.rahmawati@ulm.ac.id

Cara sitasi (APA Style 7th): Rahmawati, H., Agustini, T. W., Dewi, E. N., & Trianto, A. (2024). Karakteristik hidrolisat kolagen kulit ikan tenggiri kering dengan enzim papain. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 27(12), 1156-1171. <http://dx.doi.org/10.17844/jphpi.v27i12.55831>

Abstrak

Pemanfaatan kulit ikan tenggiri kering saat ini terbatas pada produk keripik, kerupuk dan empek-empek. Diperlukan usaha pengolahan menjadi produk yang kaya manfaat, yaitu hidrolisat kolagen untuk peningkatan nilai guna. Enzim papain digunakan pada proses hidrolisis kolagen karena lebih efektif dan menghasilkan rendemen yang lebih banyak dibandingkan enzim lainnya. Tujuan penelitian untuk menentukan persentase enzim papain dan lama perendaman optimum pada proses hidrolisis kolagen kulit ikan tenggiri kering berdasarkan karakteristik kolagen kulit ikan tenggiri kering. Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap faktorial (RALF) dengan dua faktor, yaitu perbedaan persentase enzim papain (1 dan 2%) dan lama waktu perendaman (12 dan 24 jam). Interaksi kedua faktor tersebut berpengaruh pada derajat hidrolisis, derajat putih, kadar protein, viskositas, kekuatan gel, titik leleh, kelarutan dan kemampuan membentuk busa namun tidak memengaruhi rendemen, kadar air, abu, lemak, pH dan zeta potensial hidrolisat kolagen. Kondisi optimum hidrolisis kolagen kulit ikan tenggiri kering, yaitu menggunakan enzim papain 2% dan lama perendaman 24 jam dengan rendemen 2,30%, derajat hidrolisis 35,62%, derajat putih 77,73%, kadar air 6,94%, abu 1,44%, protein 95,35%, lemak 2,33%, viskositas 6,13cp, kekuatan gel 46,64 gBloom, titik leleh 14,67°C, pH 5,83, zeta potensial 2,47 mV, kelarutan 82,00% dan pembentukan busa 31,67%. Hidrolisat kolagen kulit ikan tenggiri kering mendukung pengembangan produk samping perikanan bernilai tinggi dan mendorong pembangunan ekonomi berkelanjutan.

Kata kunci: derajat hidrolisis, derajat putih, fisikokimia, proksimat, rendemen

The Characteristics of Spanish Mackerel Dry Skin Collagen Hydrolysate with Papain Enzyme

Abstract

Spanish mackerel dried skin is commonly used in chips, crackers, and empek-empek products. However, its potential for transformation into value-added products such as collagen hydrolysate still needs to be explored. Processing this material using papain enzyme offers an efficient method to enhance its economic value, owing to its high yield and effectiveness. The aim of this study was to determine the optimum concentration of papain enzyme and soaking time for the hydrolysis of dried mackerel skin collagen based on the characteristics of dried mackerel skin collagen. This study applied a completely randomized design (CRD) with two factors: papain enzyme concentration (1% and 2%) and soaking time (12 and 24 h). The interaction between enzyme concentration and soaking time significantly affected key parameters, including hydrolysis degree, whiteness, protein content, viscosity, gel strength, melting point,

solubility, and foaming ability, whereas yield, moisture, ash, fat, pH, and zeta potential were unaffected. Optimal conditions were achieved with 2% papain en-zyme and 24-hour soaking time, resulting in a 2.30% yield, 35.62% hydrolysis degree, 77.73% white degree, 6.94% moisture, 1.44% ash, 95.35% protein, 2.33% lipid, 6,13cp viscosity, 46.64 gBloom gel strength, 14.67OC melting point, 5.83 pH, 2.47 mV zeta potential, 82.00% solubility, and 31.67% foaming ability. These results highlight the significant potential of Spanish mackerel dried skin as a raw material for collagen hydrolysate production, supporting its application in developing high-value fishery by-products and promoting sustainable eco-nomic development.

Keywords: hydrolysis degree, physicochemical, proximate, white degree, yield

PENDAHULUAN

Kulit ikan tenggiri banyak terdapat di Indonesia khususnya di Kotabaru Kalimantan Selatan yang merupakan hasil samping industri pengolahan amplang. Pemanfaatan kulit ikan tenggiri selama ini hanya sebatas olahan tradisional misalnya dijadikan empek-empek (Surya *et al.*, 2023), keripik (Maulid *et al.*, 2021) dan kerupuk (Rahmadayana, 2023), padahal kulit ikan masih mengandung protein, lemak, vitamin dan beberapa mineral. Kandungan kulit ikan tenggiri berdasarkan Gunawan *et al.* (2017) yaitu air 67,18%; abu 0,32%; protein 23,13% dan lemak 8,41%. Fernianti *et al.* (2020) melaporkan bahwa ikan tenggiri mengandung kolagen mencapai 15-17%. Limbah kulit ikan tenggiri belum termanfaatkan secara optimal sehingga diperlukan pengolahan dan teknologi agar menjadi produk yang bernilai ekonomis tinggi yaitu dijadikan produk kolagen.

Kolagen merupakan salah satu jenis protein struktural berbentuk serat (*fibrous*) yang dikenal dengan protein myofibrillar, dibentuk oleh tiga rantai polipeptida berbentuk spiral dalam untaian beruntai tunggal yang disebut *triple helix*. Kolagen mengandung tiga subunit sekuen asam amino yaitu glisina-X-prolina, atau glisina-X-hidroksiprolina (Parvizi & Kim, 2010). Kolagen mengandung alanina, arginina dan lisina. Kolagen paling banyak ditemukan dalam tubuh, terutama pada bagian jaringan ikat (Suki, 2022) misalnya kulit, tulang, ligamen, tendon/otot, tulang rawan, gigi, dan kuku. Sumber kolagen komersial biasanya berasal dari sapi dan babi, namun karena alasan kehalalan dan kesehatan penelitian hidrolisat kolagen saat ini lebih ditekankan pada komoditi perikanan terutama bagian tulang dan kulit ikan.

Bahan baku kolagen biasanya menggunakan kulit ikan segar, namun

dapat juga diekstraksi dari kulit ikan kering. Kulit ikan segar membutuhkan tempat penyimpanan ekstra misalnya *freezer* atau *chiller* untuk menjaga kesegaran dan kandungan proteinnya (Lestari *et al.*, 2022; Amin *et al.*, 2023), sementara kulit ikan kering tidak memerlukan tempat penyimpanan khusus dan dapat disimpan pada suhu ruang sehingga menghemat biaya penyimpanan serta ketersediaan bahan baku terjaga kuantitasnya (Gatea, 2011). Namun proses pengeringan dapat menyebabkan perubahan yaitu menurunkan kadar air kulit ikan yang berakibat pada tekstur kulit menjadi lebih keras dan kompak, mengurangi berat dan ukurannya serta terjadinya degradasi protein menjadi protein yang lebih kecil (Chen *et al.*, 2022). Hal ini akan menghasilkan hidrolisat kolagen dari kulit kering berbeda dengan hidrolisat kolagen dari kulit ikan segar. Penelitian kolagen dan gelatin yang diekstraksi dari kulit kering yaitu kulit ikan tenggiri kering (Kusumaningrum, 2011) dengan fokus perlakuan suhu dan waktu ekstraksi dengan akuades, dan kulit ikan belut kering serta lele (Rahmawati & Pranoto, 2012) dengan fokus perlakuan perbedaan jenis ikan.

Kolagen yang diekstraksi dari kulit maupun tulang tenggiri (Chi *et al.*, 2014; Asaduzzaman *et al.*, 2020; Putri, 2022; Herawati *et al.*, 2023) dan gelatin dari ikan tenggiri (Rachmania *et al.*, 2013; Tsurayya, 2014; Gunawan *et al.*, 2017; Ariyanto *et al.*, 2022; Meilani *et al.*, 2022) memiliki kandungan proksimat terutama protein tinggi (Herson *et al.*, 2023; Dwijayanti *et al.*, 2023), sifat fisikokimia yang baik (Tinrad & Sila-asna, 2017; Hadfi & Sarbon, 2019; Rasegaran *et al.*, 2024) juga berpotensi sebagai antioksidan (Chi *et al.*, 2014), antibakteri (Ennaas *et al.*, 2016) dan antihipertensi (Munkhu, *et al.*, 2021). Aktivitas antioksidan



juga terlihat pada hidrolisat kolagen kulit ikan yang menggunakan enzim papain pada proses hidrolisisnya (Baehaki, 2015; Devita *et al.*, 2021; Xuan *et al.*, 2018; Nurilmala *et al.*, 2019; Pascacio *et al.*, 2021).

Hidrolisat kolagen merupakan kolagen alami yang diproses dengan menghidrolisis polipeptida menjadi peptida rantai pendek bahkan hingga menjadi potongan asam amino. Hidrolisat kolagen diproses secara hidrolisis menggunakan asam, basa dan enzim. Papain adalah salah satu enzim yang dapat digunakan untuk menghidrolisis kolagen (Almada, 2018; Prastyo, 2020; Nurjanah *et al.*, 2021). Enzim papain (EC 3.4.22.2) adalah jenis enzim proteolitik dari kelompok proteinase sistein. Papain menunjukkan aktivitas proteolitik terhadap protein, rantai pendek polipeptida, ester, asam amino dan amida. Enzim ini memotong ikatan peptida asam amino arginina, lisina, dan residu fenilalanina (Amri & Mamboya, 2012). Enzim papain aktif menghidrolisis ikatan peptida di antara gugus karboksil dari lisina atau arginina dan residu asam amino. Pemotongan juga terjadi pada ikatan peptida di antara gugus karboksil dari histidina dan residu glisina, asam glutamat, glutamin, leusina dan tirosina (Babu, 2013). Papain diketahui dapat mendegradasi bagian nonheliks (telo-peptida) pada substrat protein kolagen. Protease ini juga dapat memotong bagian helix dari kolagen fibril pada kondisi fisiologis tertentu. Penggunaan enzim berpengaruh pada kandungan proksimat dan sifat fisikokimia hidrolisat protein, hidrolisat kolagen maupun gelatin (Anggraini, 2014; Baehaki *et al.*, 2015; Rahmawati & Nurjanah, 2020).

Enzim papain 4% digunakan dalam ekstraksi gelatin tulang dan cakar ayam (Rahmawati & Nurjanah, 2020) sedangkan 0,3% enzim papain merupakan konsentrasi terbaik untuk mengekstraksi kolagen kulit ikan patin dengan rendemen 23,3%, kadar air 34,8%, abu 0,16%, protein 17,18% dan pH 5,3 (Ambarwati, 2019). Afifah, *et al.* (2024) menggunakan enzim papain 1.000 U/mg/g selama 2 jam menghasilkan kelarutan kolagen yang maksimal dengan rendemen sebesar 15,38%. Rentang penggunaan persentase enzim papain yang lebar dalam ekstraksi

kolagen dan gelatin pada jenis bahan baku yang berbeda menghasilkan karakteristik proksimat dan fisikokimia yang beragam. Maka, penelitian untuk mendapatkan hidrolisat kolagen kulit ikan tenggiri kering dengan persentase enzim dan lama perendaman yang sesuai perlu dilakukan. Tujuan penelitian menentukan persentase enzim papain dan lama perendaman optimum pada proses hidrolisis kolagen kulit ikan tenggiri kering berdasarkan karakteristik kolagen kulit ikan tenggiri kering.

BAHAN DAN METODE

Prosedur Pembuatan Kolagen Kulit Ikan Tenggiri Kering

Pembuatan kolagen kulit ikan tenggiri kering mengacu pada Rahmawati & Pranoto (2012) dengan beberapa modifikasi. Bahan utama yang digunakan pada penelitian ini yaitu kulit ikan tenggiri kering, akuades, 0,1 M natrium hidroksida (NaOH) 100% (Merck Supelco); 0,5 M asam asetat (CH_3COOH) (Merck Supelco), dan enzim papain 100.000 U/g. Alat yang digunakan yaitu timbangan 2 kg (Maspion), timbangan digital (Ohaus Pioner), alat gelas (gelas ukur, gelas beker, Erlenmeyer) merk Iwaki Pyrex, *waterbath shaker* (Memmert), lemari es (Panasonic), *freezer* (Modena), *freeze dryer* (Buchi tipe L200).

Kulit ikan tenggiri kering diperoleh dari hasil samping industri pengolahan amplang yang ada di Kotabaru, Kalimantan Selatan. Kulit ikan tenggiri kering 3 kg (*dry skin weight*) direhidrasi menggunakan air dengan suhu 100°C selama 10 menit dengan perbandingan 1:3, disiangi dari sisa daging dan tulang yang menempel selanjutnya dicuci dan dibersihkan menjadi 2,25 kg (*rehydrated skin weight*) untuk tiap perlakuan dan ulangan. Kulit ikan rehidrasi ditimbang untuk direndam menggunakan 0,1 M NaOH dengan perbandingan 1:3 pada suhu ruang selama 24 jam dan setiap 12 jam larutan diganti lalu dicuci hingga netral. Kulit ikan ditimbang kembali untuk direndam menggunakan 0,5 M CH_3COOH dengan perbandingan 1:2 pada suhu ruang selama 24 jam lalu dicuci hingga netral. Kulit ikan ditimbang kembali untuk ditambahkan enzim papain sesuai dengan

perlakuan yaitu persentase enzim 1 dan 2% serta lama perendaman 12 dan 24 jam lalu dicuci hingga netral. Kulit ikan diekstraksi menggunakan akuades dengan suhu 80°C dalam *waterbath shaker* selama 4jam dengan perbandingan 1:1. Filtrasi dilakukan menggunakan kertas saring kasar kemudian filtrat dikering bekukan dalam *freeze dryer* menggunakan suhu -40°C selama ± 48 jam hingga diperoleh kolagen dalam bentuk serpihan. Kolagen disimpan pada suhu 4°C sebelum dilakukan pengujian selanjutnya.

Uji Rendemen

Pengujian dan perhitungan rendemen berdasarkan AOAC (2005). Rendemen adalah perbandingan berat kering ekstrak dengan jumlah bahan baku. Rendemen kolagen kulit ikan tenggiri kering dihitung berdasarkan perbandingan berat kolagen dengan berat awal kulit kering. Perhitungan juga dilakukan pada perbandingan berat kolagen dengan berat kulit rehidrasi. Rendemen dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\%R = \frac{\text{Berat kolagen}}{\text{Berat kulit ikan}} \times 100\%$$

Uji Derajat Hidrolisis

Uji derajat hidrolisis berdasarkan Silvestre *et al.* (2013). Derajat hidrolisis (h) adalah perbandingan jumlah zat yang terhidrolisis (bereaksi dengan air) dengan jumlah zat sebelum terhidrolisis. Derajat hidrolisis dihitung berdasarkan persentase rasio *trichloroacetic acid* (TCA). Hidrolisat protein 20 mL ditambahkan TCA 20% (b/v) 20 mL, kemudian campuran didiamkan selama 30 menit agar terjadi endapan, lalu disentrifugasi (kecepatan 7.800×g, selama 15 menit). Supernatannya lalu dianalisis kadar nitrogennya menggunakan metode Kjeldahl. Derajat hidrolisis dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\%DH = \frac{N \text{ terlarut dalam 10\% TCA}}{\text{Total N tanpa dihidrolisis}} \times 100\%$$

Uji Derajat Putih

Derajat putih kolagen diuji berdasarkan metode Alhana *et al.* (2015). Derajat putih adalah kemampuan suatu bahan untuk

memantulkan cahaya yang mengenai permukaan bahan tersebut. Derajat putih diukur menggunakan Kromameter Minolta. Berdasarkan sistem warna Hunter, L* merupakan kecerahan (warna kromatik, 0 = hitam dan 100 = putih), a* (-a = hijau dan +a = merah) dan b* (-b = biru dan +b = kuning). Derajat putih dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\% \text{Derajat Putih} = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$$

Uji Proksimat

Proksimat merupakan analisis kimia untuk mengidentifikasi kandungan air, abu, protein, lemak, dan karbohidrat pada bahan pangan. Uji proksimat yang dilakukan pada sampel kolagen kulit ikan tenggiri kering terdiri atas kadar air, abu, protein dan lemak (AOAC, 2005). Perhitungan proksimat kolagen kulit ikan tenggiri kering menggunakan berat kering.

Uji Fisikokimia

Pengujian fisikokimia yang dilakukan pada sampel kolagen kulit ikan tenggiri kering terdiri atas viskositas (Ahmad dan Benjakul 2010), kekuatan gel (*Gelatin Manufacturers Institute of America* [GMIA], 2012), titik leleh (Suryaningrum & Utomo, 2002), pH (AOAC, 2005), zeta potensial (Tan & Cheng, 2018), kelarutan (Shon, 2011), dan kemampuan membentuk busa. Kekuatan gel dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$D \text{ (dyne/cm}^2\text{)} = F \text{ (g/mm}^2\text{)} \times 0,07 \times 980 \times 10^2$$

$$\text{Kekuatan gel (gBloom)} = 20 + ((2,86 \times 10^{-3}) \times D)$$

Keterangan:

D = tekanan (dyne/cm²)

F = gaya (g/mm²)

Analisis Data

Penelitian ini menggunakan rancangan percobaan rancangan acak lengkap faktorial (RALF) dengan dua faktor perlakuan yaitu perbedaan persentase enzim papain dan lama waktu perendaman (12 dan 24 jam) dalam enzim. Perlakuan masing-masing diulang tiga kali sehingga diperoleh $2 \times 2 \times 3 = 12$ unit sampel. Data yang diperoleh dilakukan analisis menggunakan ANOVA dan uji lanjut



Duncan (Hanafiah, 2010). *Software* yang digunakan yaitu SPSS versi 23. Perlakuan terbaik *Multiple atribut* dihitung berdasarkan Zeleny (1992).

HASIL DAN PEMBAHASAN Rendemen

Rendemen kolagen kulit ikan tenggiri kering yaitu 1,76-2,84% (*Figure 1*). Penelitian sebelumnya menunjukkan hasil rendemen kulit ikan tuna sirip kuning 2,13% (Nurjanah *et al.*, 2021) dan kulit ikan parang-parang 2,61% (Safithri *et al.*, 2019), lebih tinggi dibandingkan kolagen kulit ikan nila hitam 1,50% (Alhana *et al.*, 2015) dan teripang emas 0,66% (Safithri *et al.*, 2018), lebih rendah dibandingkan kolagen kulit ikan nila hitam 5,96% (Putra *et al.*, 2013), kulit ikan nila 15,17% (Prastyo *et al.*, 2020), dan kulit ikan tuna sirip kuning 22,79% (Nurilmala, 2019).

Berdasarkan *Figure 1* perlakuan perbedaan persentase enzim papain, lama waktu perendaman, dan interaksi keduanya tidak berpengaruh ($p>0,05$) terhadap rendemen kolagen hasil penelitian baik dihitung berdasarkan berat kulit kering maupun kulit rehidrasi. Penggunaan enzim papain dan lama perendaman menghasilkan jumlah rendemen kolagen yang sama. Persentase enzim dan lama waktu

perendaman tidak memengaruhi kemampuan hidrolisis enzim karena sudah mencapai puncak optimalnya. Hasil menunjukkan bahwa enzim memiliki batas optimal dalam mengekstraksi kolagen. Hal ini karena jumlah kolagen yang terdapat pada kulit memiliki kuantitas yang terbatas dan kemampuan enzim untuk menghidrolisis memiliki batas, sehingga waktu ekstraksi ditingkatkan, kolagen yang ada di dalam kulit sudah tidak ada (Raymundus *et al.*, 2020).

Perbedaan rendemen kolagen tergantung pada proses ekstraksi yang digunakan yaitu jenis enzim, aktivitas enzim, persentase enzim, lama waktu, suhu dan pH selama perendaman dalam enzim. Nurjanah *et al.* (2021) mendapatkan perbedaan rendemen kolagen kulit ikan tuna sirip kuning dengan enzim papain (8.000 U/mg) yaitu 2,13% lebih tinggi dibandingkan dengan enzim pepsin (8.680 U/mg) yaitu 0,80%. Rendemen dipengaruhi oleh komposisi dan kondisi kulit ikan sebagai bahan baku kolagen. Rendemen kolagen kulit ikan tuna sirip kuning dan ikan nila sangat tinggi disebabkan karena kadar protein kulit ikan tuna sirip kuning 36,09% (Nurilmala, 2019) dan ikan nila 35,70% (Prasetyo *et al.*, 2020) lebih tinggi dibandingkan kadar protein kulit ikan tenggiri 23,13% (Gunawan *et al.*,

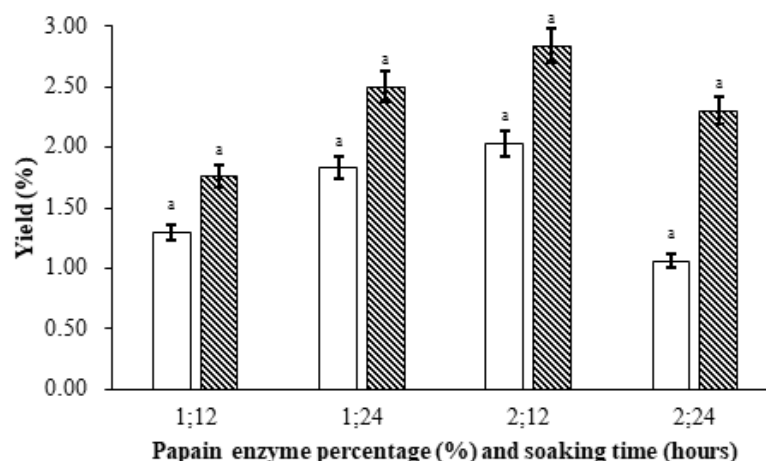


Figure 1 Yield of spanish mackerel dry skin collagen by dry skin (□) and by rehydrated skin (▨); Different superscripts showed a significant difference ($p<0.05$)

Gambar 1 Rendemen kolagen kulit kering ikan tenggiri berdasarkan kulit kering (□) dan kulit rehidrasi (▨); Huruf superskrip yang berbeda menunjukkan perbedaan signifikan ($p<0,05$)

2017). Febriansyah *et al.* (2019) menyatakan bahwa rendemen kolagen yang makin tinggi menunjukkan proses ekstraksi kolagen yang dilakukan makin efektif.

Uji Derajat Hidrolisis

Derajat hidrolisis kolagen kulit ikan tenggiri kering (26,5392-35,6203%) sejalan dengan kolagen kulit ikan nila 33,94% (Prastyo *et al.*, 2020) dan kulit ikan tuna sirip kuning 24,03% (Wardani, 2022), lebih tinggi daripada kolagen kulit dan tulang ikan patin dengan enzim papain dan bromelin berurutan yaitu 4,60 dan 1,75% serta 2,58 dan 2,97% (Anggraini, 2014; Desliani, 2014), namun lebih rendah daripada kolagen kulit ikan patin 49,76% dan 72,27-97,22%, kulit ikan tuna 54,44% dan teripang gamma 54,61% (Azizah, 2019, Nuraini, 2022, Wirayudha *et al.*, 2022 dan Khirzin *et al.*, 2015). Hidrolisat kolagen kulit ikan patin dengan enzim papain memiliki derajat hidrolisis 4,57% (Baehaki *et al.*, 2015), maka derajat hidrolisis kolagen kulit ikan kering tenggiri jauh lebih tinggi.

Persentase enzim papain maupun lama perendaman berpengaruh pada derajat hidrolisis, demikian pula dengan interaksi kedua faktor secara statistik juga berpengaruh ($p < 0,05$). Derajat hidrolisis tertinggi pada

perlakuan persentase 2% lama perendaman 24 jam (Figure 2). Derajat hidrolisis kolagen berbanding lurus dengan persentase enzim dan lama perendaman, makin tinggi persentase enzim papain dan makin lama perendaman maka makin banyak asam amino bebas yang dilepaskan, dan meningkatkan derajat hidrolisis kolagen (Prastyo *et al.*, 2020). Enzim papain dapat menghidrolisis ikatan *triple helix* menjadi ikatan tunggal dan memotong protein menjadi asam amino bebas, dari setiap ikatan peptida dari protein yang dihidrolisis akan dilepaskan gugus amino bebas (Anggraini & Yuniarta, 2015). Persentase enzim dan lama perendaman juga berbanding lurus dengan protein terlarut trichloroasetic acid (TCA) dikarenakan enzim papain dapat memutus ikatan peptida menjadi senyawa lebih sederhana misalnya asam amino dan selama proses hidrolisis terjadi konversi dari protein tidak larut menjadi senyawa N terlarut (Novitasari, 2024). Namun, total protein berbanding terbalik, mengalami penurunan dengan makin meningkatnya persentase enzim dan lama perendaman.

Derajat hidrolisis kolagen kulit dan tulang ikan patin dengan enzim papain dan bromelin sangat rendah dikarenakan proses hidrolisis yang tidak maksimal. Waktu

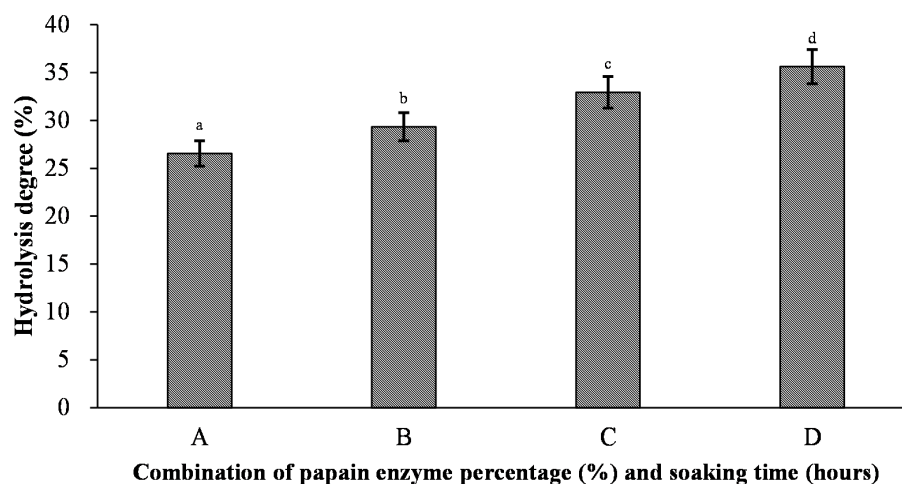
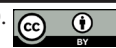


Figure 2 Hydrolysis degree of spanish mackerel dry skin collagen with combination of papain enzyme percentage and soaking time (h): (A) 1% 12 h; (B) 1% 24 h; (C) 2% 12h; (D) 2% 24h; significant difference ($p < 0.05$)

Gambar 2 Derajat hidrolisis kolagen kulit ikan tenggiri kering dengan kombinasi persentase enzim papain dan waktu perendaman (jam): (A) 1% 12 jam; (B) 1% 24 jam; (C) 2% 12 jam; (D) 2% 24 jam; Huruf superskrip yang berbeda menunjukkan perbedaan signifikan ($p < 0,05$)



inkubasi dalam enzim hanya 160 menit (Anggraini, 2014; Desliani, 2014). Hal-hal yang memengaruhi derajat hidrolisis kolagen yaitu jenis enzim misalnya papain atau bromelin (Prastyo *et al.*, 2020; Nurjanah *et al.*, 2021), persentase enzim, lama perendaman, aktivitas enzim dan kondisi proses hidrolisis. Kadar protein kolagen sebanding dengan hasil derajat hidrolisis. Derajat hidrolisis sangat berpengaruh pada komposisi asam amino dan ukuran peptida kolagen, hal tersebut dapat menentukan aktivitas biologis dan fungsionalnya (Kristinsson & Rasco, 2010).

Uji Derajat Putih

Berdasarkan *Table 1* derajat putih kolagen kulit ikan tenggiri kering (67,74-77,73%). Derajat putih kolagen teripang gamma yaitu 61,83% (Safithri *et al.*, 2020), 69,25% (Alhana *et al.*, 2015), 77,02% (Fawzya *et al.*, 2016), kolagen kulit ikan patin 66,39% (Suptijah *et al.*, 2018), kulit ikan gabus 66,67% (Wulandari *et al.*, 2015), dan kulit ikan parang-parang 48,49% (Safithri *et al.*, 2019).

Persentase enzim papain maupun lama perendaman berpengaruh pada derajat putih, demikian pula interaksi persentase enzim dan lama perendaman. Derajat putih tertinggi pada perlakuan persentase 2% lama perendaman 24 jam (*Table 1*). Persentase enzim papain dan lama perendaman dalam enzim berbanding lurus dengan derajat putih. Enzim papain dapat menyebabkan putusannya ikatan protein dengan demikian akan mengeliminasi dan mengeluarkan pigmen kulit ikan sehingga tidak terbawa pada saat proses ekstraksi

selanjutnya, maka makin tinggi derajat putih kolagen yang dihasilkan.

Uji Proksimat

Proksimat kolagen kulit ikan tenggiri kering terutama kadar air 6,94-7,31% dan abu 1,32-1,96% (*Table 2*). Kolagen kulit ikan patin mengandung air 6,55% dan abu 1,80%, sedangkan kadar lemak kolagen kulit ikan tenggiri kering 2,19-2,41% lebih rendah daripada kolagen kulit ikan patin memiliki kadar lemak 8,85% (Suptijah *et al.*, 2018). Gelatin kulit ikan tenggiri mengandung air 7,69%, abu 0,58%, protein 86,78%, dan lemak 0,71% (Gunawan *et al.*, 2017) maka kolagen kulit ikan tenggiri kering memiliki kadar protein, lemak dan abu lebih tinggi namun kadar airnya lebih rendah.

Kolagen kulit ikan tilapia mengandung air 8,90%, abu 0,50%, lemak 3,80% dan protein 16,0% (Safira *et al.*, 2022), sedangkan kolagen pari mondol yaitu air 4,69%, abu 3,00%, lemak 0,25%, dan protein 50,96% (Ong *et al.*, 2021) dan pengujian sifat fisikokimia kolagen kulit ikan tilapia yaitu kekuatan gel 399,33 gBloom dan viskositas 4,30mPa/s (Alfaro *et al.*, 2014), pH 3,26, dan berwarna cokelat 1,7 (Ater *et al.*, 2017), titik leleh 31,3°C (Zheng, 2024) maka kolagen kulit ikan tenggiri kering memiliki kadar air, abu, lemak nilainya berada di antara kolagen kulit ikan tilapia dan pari mondol dan proteinnya lebih tinggi.

Table 2 menunjukkan bahwa interaksi persentase enzim dan lama perendaman secara statistik berpengaruh ($p < 0,05$) pada kadar protein namun tidak berpengaruh pada

Table 1 White degree of spanish mackerel dry skin collagen

Tabel 1 Derajat putih kolagen kulit ikan tenggiri kering

Parameters	Papain enzyme percentage (%) and soaking time (h)			
	1		2	
	12	24	12	24
L*	65.18±0.65 ^a	69.43±0.31 ^a	74.44±1.66 ^b	78.32±0.39 ^c
a*	-0.96±0.66 ^{ab}	-0.99±0.48 ^{ab}	-1.94±0.47 ^a	-0.35±0.46 ^b
b*	5.05±0.29 ^a	4.97±0.21 ^{ab}	4.81±0.05 ^{ab}	4.38±0.54 ^b
White Degree (%)	67.74±0.63 ^a	69.03±0.28 ^a	73.53±1.43 ^b	77.73±0.34 ^c

Different letter marks on the same line indicate significant differences.

¹Alhana *et al.* (2015); ²Wulandari *et al.* (2015); ³Fawzya *et al.* (2016); ⁴Suptijah *et al.* (2018); ⁵Safithri *et al.* (2020)

Table 2 Proximate of spanish mackerel dry skin collagen
Tabel 2 Proksimat kolagen kulit ikan tenggiri kering

Parameters (%)	Papain enzyme percentage (%) and soaking time (h)			
	1		2	
	12	24	12	24
Moisture	7.17±0.09 ^a	6.94±0.70 ^a	7.31±0.04 ^a	6.94±0.51 ^a
Ash	1.96±0.44 ^a	1.32±0.21 ^{ab}	1.62±0.20 ^b	1.44±0.06 ^b
Protein	93.95±0.69 ^{ab}	92.41±1.46 ^{ab}	93.69±1.01 ^a	95.35±1.25 ^b
Lipid	2.30±0.08 ^a	2.41±0.26 ^a	2.19±0.57 ^a	2.33±0.19 ^a

Different letter marks on the same line indicate significant differences.

kadar air, abu dan lemak. Persentase enzim papain tidak berpengaruh pada kadar air, abu, lemak dan protein kolagen, sedangkan lama perendaman berpengaruh pada kadar abu namun tidak berpengaruh pada kadar air, lemak dan protein. Hal ini dikarenakan enzim papain dapat memutus ikatan silang (*cross-linked*) pada bagian telopeptida kolagen (Heu *et al.*, 2010) sehingga meningkatkan jumlah kolagen yang terlarut sehingga kadar protein meningkat seiring dengan naiknya persentase enzim papain yang digunakan. Kadar protein kolagen dengan perlakuan persentase 1% lama perendaman 12 dan 24 jam tidak menunjukkan perbedaan.

Berdasarkan SNI Kolagen 8076:2014 (Badan Standardisasi Nasional [BSN], 2014), maka kolagen penelitian sudah memenuhi standar dilihat dari kadar air (<12,00%) dan protein (> 75%), namun belum sesuai standar untuk kadar abu (<1,00) dan lemak (<1,00). Hasil penelitian sebelumnya protein kolagen teripang gamma 67,68%, gelembung renang ikan cunang 86,74±0,20%, kulit ikan patin 64,74% dan kulit ikan tuna 82,96% (Alhana *et al.*, 2015; Gadi *et al.*, 2017; Suptijah *et al.*, 2018; Kusa *et al.*, 2022) masih lebih rendah dibandingkan protein kolagen kulit ikan tenggiri yaitu 92,41-95,35%, dengan catatan bahwa kolagen kulit ikan tenggiri kering hasil penelitian dihitung berdasarkan berat kering.

Uji Fisikokimia

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik fisikokimia yang meliputi viskositas, kekuatan gel, titik leleh, kelarutan kolagen, pH, zeta potensial, dan kemampuan

berbusa disajikan pada *Table 3*. Perlakuan persentase enzim berpengaruh pada titik leleh dan kelarutan, sedangkan lama perendaman dalam enzim berpengaruh pada viskositas dan kelarutan kolagen kulit kering ikan tenggiri, interaksi persentase enzim dan lama perendaman secara statistik berpengaruh ($p<0,05$) pada viskositas, kekuatan gel, titik leleh dan kemampuan pembentukan busa namun tidak berpengaruh pada pH, zeta potensial dan kelarutan (*Table 3*). Hal ini dikarenakan enzim papain dapat memutus ikatan peptida yang memiliki rantai/polymer protein lebih panjang menjadi asam amino dengan rantai polimer lebih pendek, sehingga makin tinggi persentase enzim yang digunakan serta makin lama perendaman dalam enzim akan menyebabkan penurunan viskositas kolagen yang dihasilkan. Kolagen yang memiliki nilai viskositas lebih tinggi maka nilai kekuatan gel, titik leleh, kelarutan dan pembentukan busa juga lebih tinggi.

Viskositas kolagen kulit ikan tenggiri kering 6,13-8,20 cp. Viskositas kolagen kulit ikan parang-parang yaitu 6,5 cp (Safithri *et al.*, 2019), lebih rendah daripada viskositas kolagen kulit ikan gabus yaitu 10 cp (Wulandari *et al.*, 2015) dan kolagen kulit ikan patin 22,67 cp (Yanti *et al.*, 2022). Viskositas merupakan ketahanan zat alir (fluida) yang diubah baik dengan tekanan maupun tegangan, makin besar tekanan pada fluida maka makin tinggi nilai viskositasnya.

Kekuatan gel kolagen kulit ikan tenggiri kering 46,64-89,33 gBloom lebih rendah dibandingkan gelatin kulit ikan tenggiri kering yaitu 291,33 gBloom (Kusumaningrum *et al.*,

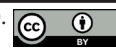


Table 3 Physicochemical of spanish mackerel dry skin collagen
Tabel 3 Fisikokimia kolagen kulit ikan tenggiri kering

Parameters (%)	Papain enzyme percentage (%) and soaking time (h)			
	1		2	
	12	24	12	24
Viscosity (cp)	7.35±0.76 ^{ab}	7.00±0.54 ^{ac}	8.20±0.47 ^b	6.13±0.40 ^c
Gel strength (gBloom)	82.74±8.94 ^a	50.34±6.71 ^b	89.33±6.27 ^a	46.64±2.19 ^b
Melting point (°C)	29.22±1.15 ^a	16.00±1.00 ^b	28.33±0.58 ^a	14.67±0.58 ^b
pH	5.87±0.49 ^a	5.70±0.17 ^a	5.67±0.12 ^a	5.83±0.76 ^a
Zeta potential (mV)	3.70±1.31 ^a	4.23±0.90 ^a	4.47±1.14 ^a	2.47±1.03 ^a
Solubility (%)	71.67±8.39 ^a	48.33±8.50 ^b	78.67±8.33 ^a	82.00±6.24 ^a

Different letter marks on the same line indicate significant differences.

2018), gelatin kulit ikan patin 273,58 gBloom, gelatin kulit ikan lele 223,50 gBloom dan gelatin kulit ikan gabus 2.577,20 gBloom (Ratnasari & Firlianty, 2016). Kekuatan gel merupakan sifat fungsional yang penting dalam produk gelatin dan kolagen yaitu kemampuan dalam membentuk gel, sehingga makin tinggi nilai kekuatan gel makin baik sifat fungsional kolagen. Titik leleh adalah tinggi suhu ketika gelatin yang telah membentuk gel mencair saat dipanaskan (Trilaksani *et al.*, 2012). Titik leleh kolagen kulit ikan tenggiri kering 14,67-29,22°C sudah memenuhi standar GMIA (2012) yaitu < 35°C. Titik leleh kolagen gelatin kulit ikan patin 29,0°C, gelatin kulit ikan lele 28,33°C dan gelatin kulit ikan gabus 29,83°C (Ratnasari & Firlianty, 2016).

Kelarutan kolagen kulit ikan tenggiri kering 27,00-42,67% jauh lebih rendah dibandingkan kelarutan kolagen kulit ikan tuna sirip kuning 99,54% (Wirayudha *et al.*, 2022), kolagen kulit ikan patin 98,96% (Yanti *et al.*, 2022) dan kolagen tulang ikan tongkol 66,9-93,5% (Rahmawati, 2020). Kelarutan merupakan kemampuan suatu zat terlarut untuk dapat larut dalam zat pelarut. Nilai kelarutan yang tinggi akan mempermudah pengaplikasian kolagen pada produk. Kemampuan pembentukan busa merupakan salah satu sifat fungsional penting kolagen, pembentukan busa kolagen kulit ikan tenggiri kering 27,00-42,67%. Kolagen pada dasarnya memiliki karakteristik aktif permukaan yang dapat menyebabkan produk menjadi berbuisa, dan juga mengurangi tegangan

permukaan pada antarmuka cairan atau udara sehingga mencegah busa cepat hilang. Kemampuan kolagen dalam membentuk busa berhubungan dengan kehadiran gugus bebas dalam protein kolagen yang mampu mengikat air, untuk membentuk dan menstabilkan busa tergantung pada struktur molekul substansi kolagen (Dzyuba *et al.*, 2017).

pH kolagen kulit ikan tenggiri kering 5,67-5,87 lebih tinggi dibandingkan kolagen gelembung ikan cunang pH 4,31, kulit ikan gabus 5,24 dan kulit ikan patin 5,53 (Gadi *et al.*, 2017; Wulandari *et al.*, 2015; Devi *et al.*, 2017), lebih rendah dibandingkan pH kolagen kulit ikan parang-parang 6,25, kulit ikan tuna sirip kuning 6,94 dan kulit ikan patin 6,37 (Safithri *et al.*, 2019; Wirayudha *et al.*, 2022; Yanti *et al.*, 2022). Nilai pH kolagen dipengaruhi oleh keberadaan ion H⁺. Makin pH mendekati netral maka akan makin mudah kolagen diaplikasikan pada produk pangan, kosmetik maupun obat-obatan. Hasil kolagen penelitian ini belum sesuai dengan syarat dan mutu kolagen SNI 8076:2014 (BSN, 2014) yaitu 6,5-8.

Zeta potensial adalah parameter muatan listrik antara partikel koloid. Zeta potensial merupakan akumulasi dari jumlah muatan yang terdapat pada permukaan partikel sampai lapisan terluar dari partikel tersebut. Makin tinggi nilai zeta potensial maka akan menahan stabilitas yang tinggi pada kolagen, zeta potensial yang tinggi akan menghasilkan koloid yang sangat stabil. Zeta potensial kolagen kulit ikan tenggiri kering

2,47-4,47 mV lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai zeta potensial gelembung renang ikan tuna yaitu 0,496 mV. Karakteristik kolagen kulit ikan tenggiri kering hasil penelitian yang dipengaruhi oleh perlakuan satu faktor perbedaan persentase enzim yaitu derajat hidrolisis, derajat putih, titik leleh dan kelarutan, dan untuk satu faktor lama perendaman memengaruhi derajat hidrolisis, derajat putih, abu, viskositas dan kelarutan, sedangkan interaksi kedua faktor tersebut berpengaruh pada derajat hidrolisis, derajat putih, protein, kekuatan gel, viskositas, titik leleh dan kemampuan membentuk busa.

Pemilihan Perlakuan Terbaik

Pemilihan perlakuan terbaik menggunakan metode *Multiple Attribute Decision Making* (Zeleny, 1982). Parameter yang dijadikan penentu adalah hasil perhitungan rendemen, derajat hidrolisis, derajat putih, proksimat (kadar air, abu, protein dan lemak) dan fisikokimia (kekentalan, kekuatan gel, titik leleh, pH, zeta potensial, kelarutan dan pembentukan busa). Hasil nilai L untuk menentukan perlakuan terbaik disajikan pada *Table 4*.

Perlakuan terbaik ditentukan berdasarkan hasil jumlah L1 + L2 + Lmaks terkecil (*Table 4*) yaitu perlakuan persentase enzim 2% lama perendaman 24 jam dengan nilai L total terkecil di antara perlakuan lainnya yaitu 0,1778. Hasil perlakuan terbaik adalah hidrolisis kolagen kulit ikan kering tenggiri menggunakan persentase enzim papain 2% dan lama perendaman 24 jam dengan rendemen 2,30%, derajat hidrolisis

35,62%, derajat putih 77,73%, kadar air 6,94%, abu 1,44%, protein 95,35%, lemak 2,33%, viskositas 6,13cp, kekuatan gel 46,64 gBloom, titik leleh 14,67°C, pH 5,83, zeta potensial 2,47mV, kelarutan 82,00% dan pembentukan busa 31,67%.

KESIMPULAN

Interaksi persentase enzim dan lama perendaman berpengaruh pada derajat hidrolisis, derajat putih, protein, kekuatan gel, viskositas, titik leleh dan kemampuan membentuk busa. Kolagen dari kulit ikan tenggiri kering memiliki kandungan proksimat dan sifat fisikokimia yang baik, hanya kriteria kadar abu, lemak dan pH yang belum memenuhi standar SNI. Perlakuan optimum untuk menghidrolisis kulit ikan tenggiri kering menjadi hidrolisat kolagen yaitu menggunakan enzim papain persentase 2% dan lama perendaman 24 jam.

DAFTAR PUSTAKA

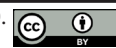
- Afifah, A., Suparno, O., Haditjaroko, L., Tarman, K., Setiyono, A. & Nugraha, A. W. (2024). Isolation and characterization of collagen from salmon (*Salmo salar*) skin using papain enzyme. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 27(6), 536-552. <http://dx.doi.org/10.17844/jphpi.v27i6.53285>.
- Akter, S., Rahman, Md. A., Naher, J., Majumder, M. W. R. & Alam, AKM 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.

Table 4 Value of L1, L2 dan Lmax each parameter

Tabel 4 Nilai L1, L2 dan Lmax tiap perlakuan

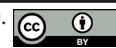
Parameters (%)	Papain enzyme percentage (%) and soaking time (h)			
	1		2	
	12	24	12	24
L1	0.1468	0.2106	0.1332	0.0852
L2	0.0027	0.0051	0.0035	0.0015
Lmax	0.0254	0.0375	0.0410	0.0299
Total	0.1749	0.2533	0.1778	0.1165*

*=best parameter



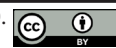
- Alfaro, A. d. T., Fonseca, G. G., Balbinot, E., Souza, N. E. d & Prentice, C. (2014). Yield, viscosity, and gel strength of wami tilapia (*Oreochromis urolepis hornorum*) skin gelatin: optimization of the extraction process. *Food Science Biotechnology*, 23(3), 765-773. <https://doi.org/10.1007/s10068-014-0103-7>.
- Alhana, Suptijah, P. & Tarman, K. (2015). Ekstraksi dan karakterisasi kolagen dari daging teripang gamma. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 18(2), 150-161. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v18i2.10610>.
- Almada, W. (2018). Profil peptida kolagen dalam hidrolisat kolagen sisik ikan gabus (*Channa striata*) hasil ekstraksi menggunakan enzim papain. [Skripsi]. Universitas Brawijaya.
- Ambarwati, R. (2019). Ekstraksi dan karakterisasi *papain soluble collagen* dari kulit ikan patin. [Skripsi]. Universitas Gadjah Mada.
- Amin, H. F., El-Lahamy, A. A., Mohamed, H. R., Khalil, K. I., Mahmud, A. A., Roby, M. H. H., El-Sherif, S. A. & Mohamed, A. S. (2023). Effect of frozen storage on fish quality and fishery products: A Review. *Mediterranean Aquaculture Journal*, 10(2), 25-35. <https://doi.org/10.21608/maj.2024.334695>.
- Amri, E. & Mamboya, F. (2012). Papain, a plant enzyme of biological importance: A review. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 8(2), 99-104. <https://doi.org/10.3844/ajbbbsp.2012.99.104>.
- Anggraini, S. (2014). Pembuatan hidrolisat kolagen dari kulit dan tulang ikan patin (*Pangasius pangasius*) dengan enzim papain dan pengujian aktivitas antioksidannya. [Skripsi]. Universitas Sriwijaya.
- Anggraini, A. & Yuniarta. (2015). Pengaruh suhu dan lama hidrolisis enzim papain terhadap sifat kimia, fisik dan organoleptik sari edamame. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 3(3), 1015-1025.
- [AOAC] Association of Official Analytical of Chemists. (2005). Official methods of analysis (18 edn) association of official analytical of chemists, inc: arlington, Virginia.
- Ariyanto, R., Ismawati & Hanafi, I. (2022, November 30). Pembuatan gelatin tulang ikan tengiri (*Scomberomorus guttatus*) dengan variasi penggunaan jenis cuka [Conference session]. Seminar Nasional Ekonomi dan Teknologi 2 Fakultas Pertanian Universitas Wiraraja Sumenep. <https://doi.org/10.24929/prosd.v0i0.2378>.
- Asaduzzaman, A. K. M., Getachew, A. T., Cho, Y. J., Park J. S., Haq, M. & Chun, B. S. (2020). Characterization of pepsin-solubilised collagen recovered from mackerel (*Scomber japonicus*) bone and skin using subcritical water hydrolysis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 149, 1290-1297. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.104>.
- Astiana, I. (2016). Efektivitas asam dan enzim papain dalam menghasilkan kolagen dari kulit ikan ekor kuning (*Caesio cuning*). [Tesis]. Institut Pertanian Bogor.
- Azizah, N. (2019). Karakteristik gelatin kulit ikan patin (*Pangasius hypophthalmus*) dan hidrolisatnya sebagai antioksidan. [Skripsi]. Institut Pertanian Bogor.
- Babu, K. M. (2013). Silk: Processing, properties and applications. Woodhead Publishing Limited, Ingram Publisher Services [distributor]. Sawston, LaVergne.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2014). SNI 8076-2014-Kolagen kasar dari sisik ikan. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Baehaki, A., Lestari, S. D. & Romadhoni, A. R. (2015). Hidrolisis protein ikan patin menggunakan enzim papain dan aktivitas antioksidan hidrolisatnya. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 18(3), 230-239. <https://doi.org/10.1016/10.17844/jphpi.2015.18.3.230>.
- Baehaki, A., Nopianti, R. & Anggraeni, S. (2015). Antioxidant activity of skin and bone collagen hydrolyzed from striped catfish (*Pangasius pangasius*) with papain enzyme. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7(11), 131-135.
- Chen, P., Qiu, Y., Chen, S., Zhao, Y., Wu, Y.

- & Wang, Y. (2022). Insights into the effects of different drying methods on protein oxidation and degradation characteristics of golden pompano (*Trachinotus ovatus*). *Front. Nutr.* 9, 1063836. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1063836>.
- Chi, C. F., Cao, Z. H., Wang, B., Hu, F. Y., Li, Z. R. & Zhang, B. (2014). Antioxidant and functional properties of collagen hydrolysates from spanish mackerel skin as influenced by average molecular weight. 19, 11211-11230. <https://doi.org/10.3390/molecules190811211>.
- Desliani, I. (2014). Aktivitas antioksidan hidrolisat kolagen kulit dan tulang ikan patin (*Pangasius pangasius*) yang dibuat dengan enzim bromelin. [Skripsi]. Universitas Sriwijaya.
- Devi, H. L. N. A., Suptijah, P. & Nurilmala, M. (2017). Efektivitas alkali dan asam terhadap mutu kolagen dari kulit ikan patin. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 20(2), 255-265.
- Devita, L., Nurilmala, M., Lioe, H. N. & Suhartono, M. T. (2021). Chemical and antioxidant characteristics of skin-derived collagen obtained by acid-enzymatic hydrolysis of bigeye tuna (*Thunnus obesus*). *Marine Drugs*, 19(4), 222. <https://doi.org/10.3390/md19040222>.
- Dwijayanti E., Munadi R. & Farnatubun M. W. (2023). Analisis proksimat dan kolagen pada kulit ikan tawassang (*Naso thynnoides*). *ILTEK : Jurnal Teknologi*, 18(2), 103-107. <https://doi.org/10.47398/iltek.v18i02.124>.
- Dzyuba, N., Bilenka, I., Palvashova, A. & Zemlyakova, E. (2017). Investigation of foaming and hydration properties of collagen hydrolyzate. *Eureka: Life Science*. 5, 68-72. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2017.00424>.
- Ennaas, N., Hammami, R., Goma, A., Bedard, F., Biron, E., Subirade, M., Beaulieu, L. & Fliss, I. (2016). Collagencin, an antibacterial peptide from fish collagen: activity, structure and interaction dynamics with membrane. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 473(2), 642-647. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2016.03.121>.
- Fawzya, Y. N., Chasanah, E., Poernomo, A. & Khirzin, M. H. (2016). Isolasi dan karakterisasi parsial kolagen dari teripang gamma (*Stichopus variegatus*). *JPB Kelautan dan Perikanan*, 11(1), 91-100.
- Febriansyah, R., Pratama, A. & Gumilar, J. (2019). Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap rendemen, kadar air dan kadar abu gelatin ceker itik (*Anas platyrhynchos javanica*). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak*, 14(1), 1-10. <https://doi.org/10.21776/ub.jitek.2019.014.01.1>.
- Fernianti, D., Juniar, H. & Adinda, N. D. (2020). Pengaruh massa ossein dan waktu ekstraksi gelatin dari tulang ikan tenggiri dengan perendaman asam sitrat belimbing wuluh. *Jurnal Distilasi*, 5(2), 1-9. <https://doi.org/10.32502/jd.v5i2.3027>.
- Gadi, D. S., Trilaksana, W. & Nurhayati, T. (2017). Histologi, ekstraksi dan karakterisasi kolagen gelembung renang ikan cunang *Muarenesox talabon*. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 9(2), 665-683. <http://dx.doi.org/10.29244/jitkt.v9i2.19300>.
- Gatea, A. A. (2011). Design and construction of a solar drying system, a cylindrical section and analysis of the performance of the thermal drying system. *African Journal of Agricultural Research*, 6(2), 343-351. <https://doi.org/10.5897/AJAR10.347>.
- GMIA. (2012). Gelatin Handbook. USA: Gelatin Manufacturers Institute of America.
- Gunawan, F., Suptijah, P. & Uju. (2017). Ekstraksi dan karakterisasi gelatin kulit ikan tenggiri (*Scomberomorus commersonii*) dari Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 20(3), 568-581. journal.ipb.ac.id/index.php/jphpi.
- Hadfi, N. H. & Sarbon, N. M. (2019). Physicochemical properties of silver catfish (*Pangasius* sp.) skin collagen as influenced by acetic acid concentration.



- Food Research* (2019).
- Hanafiah, K. A. (2010). Rancangan percobaan teori & aplikasi ed 3. Raja Grafindo Persada. Banjarmasin.
- Herawati, E., Titisari, R. S. & Astirin, O. P. (2023). Characterization of collagen hydrolysate gel from mackerel scad skin (*Decapterus macarellus*). *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(7), 5568-5573. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i7.3983>.
- Herson, N. A., Sumual, M. F., Rumengan, I. F. M., Pongoh, J. & Mandey, L. C. (2023). Analisis proksimat kolagen sisik ikan kakatua (*Scarus* sp.). *Jurnal Agroteknologi Terapan*, 4(2), 428-433. <https://doi.org/10.35791/jat.v4i2.52484>.
- Heu, M. S., Lee, J. H., Kim, H. J., Jee, S. J., Lee, J. S., Jeon, Y. J., Shahidi, F. & Kim, J. S. (2010). Characterization of acid and pepsin-soluble collagen from flatfish skin. *Food Sci. Biotechnol*, 19(1), 27-33. <https://doi.org/10.1007/s10068-010-0004-3>.
- Khirzin, M. H., Sukarno, Yuliana N. D., Fawzya Y.N. & Chasanah E. (2015). Aktivitas inhibitor enzim pengubah angiotensin (ACE) dan antioksidan peptida kolagen dari teripang gamma (*Stichopus variegatus*). *JPB Kelautan dan Perikanan*, 10(1), 27-35. <https://doi.org/10.15578/jpbkp.v10i1.242>.
- Kristinsson, H. G. & Rasco, B. A. (2000). Fish protein hydrolysates: production, biochemical, and functional properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40(1), 43-81. <https://doi.org/10.1080/10408690091189266>.
- Kusa, S. R., Naiu, A. S. & Yusuf, N. (2022). Karakteristik kolagen kulit tuna sirip kuning (*Thunnus albacares*) pada waktu hidro-ekstraksi berbeda dan potensinya dalam bentuk sediaan nanokolagen. *Media Teknologi Hasil Perikanan*, 10(2), 107-116. <https://doi.org/10.35800/mthp.10.2.2022.41716>.
- Kusumaningrum, I. (2011). Optimasi ekstraksi dan karakterisasi gelatin kulit ikan tenggiri (*Scomberomorus commersoni*) segar dan kering [Tesis]. Universitas Gadjah Mada.
- Kusumaningrum, I., Pranoto, Y. & Hadiwiyoto, S. (2018). Extraction optimization and characterization of gelatine from fish dry skin of Spanish mackerel (*Scomberomorus commersoni*). The 1st International Conference on Tropical Studies and Its Application (ICTROPS) 144 (2018) 012036. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/144/1/012036>.
- Lestari, S. I., Aina, G. Q. & Yusran D. I. (2022). Analisis pengaruh penyimpanan terhadap kadar protein pada ikan patin. *Duta Pharma Journal*, 2(2), 114-120. <https://doi.org/10.47701/djp.v2i2.2434>.
- Maulid, D. Y., Putra, R. S., Nusaibah, Abrian, S., Pangestika, W., Arumsari, K., Widiyanto, D. I. & Yuniarti E. (2021). Kandungan proximat keripik kulit ikan tenggiri (*Scomberomorus commerson*) dengan metode pengeringan yang berbeda. *AGRIKAN - Jurnal Agribisnis Perikanan*, 14(2), 445-451. <https://doi.org/10.52046/agrikan.v14i2.445-451>.
- Meilani, S. S., Kustiyah, E., Saing, B. & Ridwan, A. M. (2022). Pemanfaatan kembali limbah tulang ikan tenggiri sebagai bahan baku pembuatan gelatin melalui proses hidrolisis asam fosfat. *Jurnal Ilmu Perikanan dan Kelautan*, 4(2), 57-64. <https://doi.org/10.36526/lemuru.v4i2.2085>.
- Munkhuu, B., Erdene, L., Bayarsukh, Z., Altantulga, E. A., Baltsukh, O., Tudev, G. E. & Narmandakh, A. (2021, October 05). Antioxidant and antihypertensive activity of collagen and elastin hydrolysate at different molecular weights [Conference session]. The 5th International Conference on Chemical Investigation and Utilization of Natural Resource (ICCIUNR-2021); Atlantis Highlights in Chemistry and Pharmaceutical Sciences Vol 2. <https://doi.org/10.2991/ahcps.k.211004.004>
- 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.
- Nuraini, E. (2022). Karakteristik hidrolisat kolagen dari kulit ikan patin (*Pangasius hypophthalmus*) dengan perbedaan konsentrasi enzim papain. [Skripsi]. Institut Pertanian Bogor.
- Nurilmala, M., Pertiwi, R. M., Nurhayati, T., Fauzi, S., Batubara, I. & Ochiai, Y. (2019). Characterization of collagen and its hydrolysate from yellowfin tuna *Thunnus albacares* skin and their potencies as antioxidant and antiglycation agents. *Fisheries Science*, 85(2019), 591-599. <https://doi.org/10.1007/s12562-019-01303-5>.
- Nurjanah, Baharuddin, T. I. & Nurhayati, T. (2021). Ekstraksi kolagen kulit ikan tuna sirip kuning (*Thunnus albacares*) menggunakan enzim pepsin dan papain. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 24(2), 174-187. <http://dx.doi.org/10.17844/jphpi.v24i2.35410>.
- Ong, T. Y., Shaik, M. I. & Sarbon, N. M. (2021). Isolation and characterization of acid and pepsin soluble collagen extracted from sharpnose stingray (*Dasyatis zugei*) skin. *Food Research*, 5(3), 214-224. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(3\).322](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(3).322).
- Parvizi, J. & Kim, G. K. (2010). High Yield Orthopaedics. Chapter 53 - Collagen. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4160-0236-9.00064-X>.
- Pascacio, V. G. T., Valbuena, D. C., Sterling, R. M., Tavano, O., Murcia, A. B., Guti 'errez, G. V., Rather, I. A. & Lafuente, R. F. (2021). Bioactive peptides from fisheries residues: A review of use of papain in proteolysis reactions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 184(2021), 415-428. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.06.076>.
- Prasetyo, D. Y. B., Sarmin, Setyastuti, A. I. & Kurniawati, A. (2020). Pengaruh perbedaan enzim proteolitik dan lama hidrolisa terhadap kualitas hidrolisat protein ikan dari limbah industri fillet Ikan Nila (*Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758)). *Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan*, 3(2), 202-210. <https://doi.org/10.33387/jikk.v3i2.2586>.
- 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.
- Putra. A. B. N., Sahubawa, L. & Ekantari, N. (2013). Ekstraksi dan karakterisasi kolagen dari kulit ikan nila hitam (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 8(2), 171-180. <http://dx.doi.org/10.15578/jpbkp.v8i2.61>.
- Putri, A. A. H. Q. (2022). Isolasi dan karakterisasi kolagen dari kulit dan tulang ikan tenggiri (*Scomberomorus commerson*). [Skripsi]. Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati.
- Rachmania, R. A., Nisma, F. & Mayangsari, E. (2013). Ekstraksi gelatin dari tulang ikan tenggiri melalui proses hidrolisis menggunakan larutan basa. *Media Farmasi*, 10(2), 18-28. <http://dx.doi.org/10.12928/mf.v10i2.1167>.
- Rahmadayana, R. D. (2023). Analisis strategi pemasaran dan promosi melalui media online produk olahan kerupuk kulit ikan tenggiri "Damai Jaya". *JEK - Jurnal Ekonomi dan Kewirausahaan Kreatif*, 8(1), 11-17. <https://doi.org/10.59179/jek.v8i01.65>.
- Rahmawati, D. (2020). Pengaruh variasi jenis asam terhadap produksi kolagen berbahan dasar tulang ikan tongkol (*Euthynnus affinis*). [Skripsi]. UIN Maulana Malik Ibrahim.
- Rahmawati, H. & Pranoto, Y. (2012). Sifat fisiko-kimia gelatin kulit ikan belut dan lele pada keadaan segar dan kering. *Fishscientiae*, 2(3), 18-30. <http://dx.doi.org/10.20527/fs.v2i3.1148>.
- Rahmawati, S. & Nurjanah. (2020). Pengaruh konsentrasi enzim papain terhadap mutu gelatin bubuk dari tulang dan cakar ayam. *Jurnal Konversi*, 9(1), 39-52. <https://doi.org/10.24853/konversi.9.1.14>.
- Ramli, A. R., Annisa, A. R., Bahmid, N. A. & Mustafa, M. D. (2020). Isolation of papain-soluble collagen from the skin of snake-head fish (*Channa striata*). *Canrea Journal: Food Technology, Nutritions, and Culinary*, 3(2), 87-93. <https://doi.org/10.20956/canrea.v3i2.367>.



- Rasegaran, L. A. P. K., Jaziri, A. A., Aziz, A. H. A., Shapawi, R., Mokhtar, R. A. M., Noordin, W. N. Md., Nurdiani, R. & Huda N. (2024). Comparison of physicochemical properties of barracuda (*Sphyraena barracuda* Edwards, 1771) skin collagen hydrolyzed using two different pepsin sources. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*. 14(4), 1305-1311. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.14.4.19647>.
- Ratnasari, I. & Firlianty. (2016). Physico-chemical characterization and skin gelatin rheology of four freshwater fish as alternative gelatin source. *AACL Bioflux*, 9(6), 1196-1207.
- Raymundus, J. T., Mentang, F., Agustin, T. A., Onibala, H., Kaseger, B. E., Makapedua, D. M. & Sanger, G. (2020). Pengaruh perbedaan konsentrasi asam asetat dan lama waktu ekstraksi kolagen dari kulit ikan situhuk hitam (*Makaira indica*). *Jurnal Media Teknologi Hasil Perikanan*, 8 (2), 44-49. <https://doi.org/10.35800/mthp.8.2.2020.27326>.
- Safira, A., Rani, C. A. M., Puspitasari, R. A., Ayuningtyas, A. K. P., Mahendra, Y. A., Purnomo, A., Fikri, F., Chhetri, S., Elziyad, M. T. & Purnama. (2022). Amino acid and proximate analysis of type-1 collagen from sea cucumber and tilapia-skin and its potential application as artificial tendon. *Pharmacognosy Journal*, 14(4):358-361. <https://doi.org/10.5530/pj.2022.14.107>.
- Safithri, M., Setyaningsih, I., Tarman, K., Yuhendri, V. M. & Meydia. (2018). Potensi kolagen teripang emas sebagai inhibitor tirosinase. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 21(2), 295-303. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v21i2.23085>.
- 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.
- Silvestre, M. P. C., Morais, H. A., Silva, V. D. M. & Silva, M. R. (2013). Degree of hydrolysis and peptide profile of whey proteins using pancreatin. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 38(1), 278-290. <http://dx.doi.org/10.4322/nutrire.2013.026>.
- Suki, B. (2022). Structure and function of the extracellular matrix. A multiscale quantitative approach. Chapter 3 - The collagen molecule. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819716-5.00001-0>.
- Suptijah, P., Indriani, D. & Wardoyo, S. E. (2018). Isolasi dan karakterisasi kolagen dari kulit ikan patin (*Pangasius* sp.). *Jurnal Sains Natural Universitas Nusa Bangsa*, 8(1), 8-23. <https://doi.org/10.31938/jsn.v8i1.106>.
- Surya, R., Destifen, W., Nugroho, D. & Stephanie. 2023. Pempek: traditional fishcake dish from South Sumatra, Indonesia. *Canrea Journal: Food Technology, Nutritions, and Culinary*, 6(1), 57-76. <https://doi.org/10.20956/canrea.v6i1.964>.
- Tinrat, S. & and Sila-asna, M. (2017). Optimization of gelatin extraction and physico-chemical properties of fish skin and bone gelatin: its application to panna cotta formulas. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 5(3), 263-273. <http://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.5.3.11>.
- Trilaksani, W., Nurilmala, M. & Setiawati, I. H. (2012). Ekstraksi gelatin kulit ikan kakap merah (*Lutjanus* sp.) dengan proses perlakuan asam. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 15(3), 240-251. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v15i3.21436>.
- Tsurayya, E. A. (2014). Karakteristik gelatin kulit ikan tenggiri (*Scomberomorus commersoni*) dan aplikasinya untuk mikroenkapsulasi minyak atsiri daun salam (*Pimenta racemosa*) dengan metode freeze drying. [Skripsi]. Universitas Gadjah Mada.
- Wardani, D. W. (2022). Evaluasi in silico dan in vitro untuk aktivitas antioksidan dan sifat fungsional kolagen kulit ikan tuna sirip kuning (*Thunnus albacares*)

- yang dihidrolisis dengan enzim papain. [Tesis]. Universitas Gadjah Mada.
- Wirayudha, R. H., Herawati, D., Kusnandar, F. & Nurhayati, T. (2022). Kapasitas antioksidan dan sifat fisikokimia hidrolisat kolagen dari kulit ikan tuna sirip kuning dengan metode ultrasound assisted enzymatic reaction. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 25(3), 393-404. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v25i3.43325>.
- Wulandari, Suptijah P. & Tarman K. (2015). Efektivitas *pretreatment* alkali dan hidrolisis asam asetat terhadap karakteristik kolagen dari kulit ikan gabus. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 18(3), 287-302. <https://doi.org/10.17844/jphpi.2015.18.3.287>.
- Xuan Ky, P., Bao Vy, P., Ha Dao, V., Le Ho, K. H., Hong, N. T., Thiet, D. T. & Anh, N. P. (2018). Investigation of protein patterns and antioxidant activity of collagen hydrolysates from skin of fan-bellied leatherjacket *Monacanthus chinensis* by various enzymes. *Journal of Marine Science and Technology*, 18(4A), 141-150. DOI:10.15625/1859-3097/18/4A/13642.
- Yanti, F., Dharmayanti, N. & Suryanti. (2022). Aktivitas antioksidan kolagen dari kulit ikan patin (*Pangasius* sp.) dengan enzim bromelin kasar kulit nanas (*Ananas comosus* L.). *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 25(1), 88-96. <http://dx.doi.org/10.17844/jphpi.v25i1.36731>.
- Zeleny, M. (1982). Multiple criteria decision making 2nd Edition. Mc Graw Hill ISBN: 0070727953, 9780070727953. New York.
- Zheng, Y., Li, Y., Ke, C., Gao, X., Liu, Z. & Chen, J. (2024). Comparison of structural and physicochemical characteristics of skin collagen from chum salmon (cold-water fish) and nile tilapia (warm-water fish). *Foods* 13(8), 1213. <https://doi.org/10.3390/foods13081213>.