

Caudal Keel Tuna Sebagai Sumber Bahan Baku Baru Minyak Ikan: Pengaruh Suhu Dan Waktu Ekstraksi

Caudal Keel Tuna as A New Raw Material Source Fish Oil: The Effect of Temperature and Extraction Time

Fanny Indah Sari Berutu*¹, Sugeng Heri Suseno¹, dan Wahyu Ramadhan^{1,2}

¹Departemen Teknologi Hasil Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Jalan Agatis, Bogor Jawa Barat 16680, Indonesia

²Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan (PKSPL), Kampus IPB Baranangsiang, Jl. Raya Pajajaran No. 1, Bogor, Jawa Barat, 16127, Indonesia

*Korespondensi penulis: fannyindahsari@apps.ipb.ac.id/fannyindahsari09@gmail.com

Diterima: 30 Juni 2024; Direvisi: 06 Agustus 2024; Disetujui: 25 Oktober 2024

ABSTRAK

Minyak ikan adalah produk pengembangan hasil perikanan dengan nilai potensi yang tinggi. By-product yang belum banyak dimanfaatkan oleh industri pengolahan perikanan adalah sirip ekor (caudal keel) tuna. Caudal keel tuna (*Thunnus albacares*) berpotensi sebagai sumber alternatif baru bahan baku dalam upaya untuk penanganan dan pemanfaatan by-product perikanan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakteristik proksimat, kadar logam berat, profil asam lemak, indeks aterogenik (IA) dan indeks trombogenik (IT), serta penentuan suhu serta waktu ekstraksi terbaik minyak ikan kasar caudal keel tuna menggunakan metode dry rendering. Metode dry rendering sebagai metode ekstraksi yang digunakan dalam penelitian, dengan menggunakan variasi suhu 80, 90, 100°C selama 2, 3, dan 4 jam. Minyak ikan yang telah diekstrak dilakukan pengukuran rendemen, dan parameter oksidasi minyak meliputi peroksida (PV), asam lemak bebas (FFA), nilai anisidin serta total oksidasi. Penelitian yang dilakukan menggunakan analisis Rancangan Acak lengkap Faktorial dengan 2 faktor, yakni suhu dan waktu ekstraksi. Studi berikut memakai Rancangan Acak Lengkap Faktorial melalui 2 faktor, yakni suhu serta waktu ekstraksi. Setiap percobaan dilakukan sebanyak 2 kali ulangan. Hasil penelitian menunjukkan kandungan lemak caudal keel tuna 3,32%. Kadar logam berat di bawah standar (BPOM). Karakteristik minyak ikan caudal keel tuna terpilih dihasilkan pada suhu 80°C dengan waktu 2 jam, rendemen 2,83%, peroksida 17,50 meq/kg, asam lemak bebas (FFA) 1,21, nilai anisidin 12,05 meq/kg, dan nilai total oksidasi 47,02 meq/kg. Profil asam lemak didominasi oleh asam dokosaheksaenoat (DHA) 21,77%. Nilai indeks aterogenik (IA) dan indeks trombogenik (IT) sebesar 0,51 dan 0,29.

KATA KUNCI: Minyak ikan, *by-product*, *caudal keel tuna*, *dry rendering*

ABSTRACT

*Fish oil is a fishery product with significant development potential. high. Aby-product that has not been widely utilised by the fisheries processing industry is thecaudal fin of tuna. Caudal keel tuna (*Thunnus albacares*) has the potential as a new alternative source of raw materials in an effort to handle and utilise fisheries by-products . The following study aimed to determine the proximate characteristics, heavy metal content, fatty acid profile, atherogenic index (IA) and thrombogenic index (IT), as well as to determine the best extraction temperature and time for crude fish oil of caudal keel tuna using dry rendering method. The oil extraction process uses the dry rendering method using temperature variations of 80, 90, 100oC for 2, 3, and 4 hours. The extracted fish oil was measured for yield, and oil oxidation parameters including peroxide (PV), free fatty acids (FFA), anisidine value and total oxidation. The following study used a Factorial Complete Randomised Design analysis with 2 factors, namely temperature and extraction time. The following study utilised a completely randomised factorial design with two factors, temperature and extraction time. Each experiment was conducted with 2 replications. The results showed that the fat content of caudal keel tuna was 3.32%. Heavy metal content was below the standard (BPOM). The characteristics of selected tuna caudal keel fish oil was produced at 80oC for 2 hours, yield 2.83%, PV 17.50 meq/kg, FFA 1.21%, anisidine value 12.05 meq/kg, overall oxidation 47.02 meq/kg. The fatty acid profile was dominated by docosahexaenoic acid (DHA) 21.77%. The arterogenic index (IA) and thrombogenic index (IT) values were 0.51 and 0.29, respectively.*

KEYWORDS: *Fish oil, by-product, caudal keel tuna, dry rendering*

PENDAHULUAN

Asam lemak omega-3 rantai panjang, yang bermanfaat bagi kesehatan manusia, dapat ditemukan dalam minyak ikan. Lemak esensial yang berasal dari minyak ikan, asam eicosapentaenoic (EPA) dan asam docosahexaenoic (DHA), diketahui dapat membantu meningkatkan sistem kebalan tubuh, serta fungsi-fungsi syaraf, kanker, depresi, diabetes, dan penyakit jantung. Selain itu, minyak ikan juga sebagai produk hasil pengembangan perikanan dengan potensi nilai ekonomi yang signifikan. Hal tersebut dibuktikan dengan peningkatan nilai impor minyak ikan Indonesia dari 7.390,58 ton menjadi 7.772,73 ton atau setara dengan 15.944,87 dan USD 20.558,00 pada tahun 2022 hingga 2023 (KKP, 2023). Nilai impor minyak ikan Indonesia melebihi nilai ekspornya, dari 2.180,70 ton menjadi 2.844,8 ton pada tahun 2022-2023 (BPS, 2024). Peningkatan nilai impor tersebut menunjukkan bahwa industri Indonesia belum mampu memenuhi permintaan minyak ikan di dalam negeri. Pemanfaatan *by-product* dari hasil pengolahan perikanan sebagai bahan baku minyak ikan sudah banyak dikembangkan seperti tulang (Istiqlaal, 2018), mata (Trilaksani et al., 2020), kepala (Zhang et al., 2019), daging (Rahmawati et al., 2024) dan berbagai sumber alternatif lainnya.

Salah satu *by-product* dari industri pengolahan ikan tuna yang berpotensi sebagai sumber bahan baku minyak ikan, tetapi belum dilirik oleh industri minyak ikan adalah sirip ekor (*caudal keel*). *Caudal keel* merupakan struktur lateral yang terletak di sepanjang tangkai ekor pada bagian depan sirip ekor yang memiliki peran penting dalam aktivitas berenang ikan, berfungsi sebagai pendorong sirip ekor untuk dapat bergerak maju serta berbelok ke kiri dan ke kanan (Zhang et al., 2020). *Caudal keel* dari hasil *fillet* tuna telah terbukti dapat menghasilkan rendemen sebesar 18-21% dari berat total ikan (Sumandiarsa et al., 2024). *Caudal keel* tuna yang dihasilkan dari industri pengolahan ikan tuna selama ini hanya menjadi limbah dan bahkan dibuang begitu saja. Penelitian sebelumnya melaporkan bahwa sirip ekor (*Thunnus* sp) memiliki kandungan lemak sebesar 3,35%, jika dibandingkan dengan bagian kulit, gonad, dan daging merah, kadar lemak sirip ekor tersebut lebih tinggi dibandingkan bagian lainnya (Suseno, 2015). *Thunnus albacares* merupakan spesies ikan tuna yang digunakan dalam penelitian ini, dan sebagai komoditas ekspor utama Indonesia. Hal ini dibuktikan dari peningkatan volume ikan *Thunnus albacares* hasil tangkapan pada tahun 2023, produksinya sebesar 301.798,99

ton dengan volume ekspor sebesar 194.723,525 kg, setara dengan USD 960.265,834 (KKP, 2023). Potensi besar ini menjadi peluang dan tantangan bagi industri pengolahan tuna di Indonesia. Berdasarkan hal tersebut pemanfaatan *by-product caudal keel* tuna berpotensi menjadi sumber alternatif baru minyak ikan yang menjanjikan.

Selain sebagai sumber minyak, minyak ikan juga diproduksi melalui proses ekstraksi. Proses ekstraksi minyak ikan merupakan tahap penting dalam menghasilkan produk berkualitas, baik dari kandungan nutrisi maupun stabilitas minyak yang dihasilkan. Oleh karena itu, memilih metode ekstraksi yang tepat adalah salah satu hal yang paling penting untuk dipertimbangkan. Metode ekstraksi yang umum dipakai dalam industri minyak ikan ialah metode *dry rendering*, yang proses ekstraksinya menggunakan bantuan panas tanpa penambahan air selama proses ekstraksi berlangsung (Estiasih, 2009). Prinsip kerja metode *dry rendering* adalah dengan memecahkan dinding serta membran sel lipid material dengan menggunakan bantuan panas, sehingga minyak lebih mudah terekstraksi (Ambrosewicz-Walacik et al., 2015). Penelitian tentang penggunaan metode *dry rendering* untuk mengekstraksi minyak ikan telah menunjukkan, bahwa salah satu variabel yang memengaruhi kualitas minyak yang dihasilkan adalah suhu dan waktu ekstraksi. Penggunaan suhu dan waktu ekstraksi yang terlalu rendah tidak dapat menghasilkan rendemen minyak ikan yang maksimal, namun penggunaan suhu dan waktu ekstraksi yang terlalu tinggi dapat mempercepat proses oksidasi minyak (Martins et al., 2021). Berdasarkan hasil penelitian Lestari et al. (2016) menunjukkan bahwa minyak ikan yang diekstrak dari limbah kepala ikan *mackerel* memakai metode *steam jacket* pada suhu 100°C selama 20 menit menghasilkan minyak ikan berkualitas rendah, akibat penggunaan suhu yang terlalu tinggi. Djamaludin et al. (2023) melaporkan bahwa metode *dry rendering* untuk mengekstraksi lemak jeroan ikan tuna pada suhu 50°C selama 1 jam memberikan hasil terbaik dengan parameter oksidasi yang memenuhi standar. Berdasarkan perolehan studi Megasanti et al. (2020); Kamini et al. (2016); Suseno et al. (2020) penggunaan suhu serta waktu ekstraksi yang optimal dapat menghasilkan minyak ikan yang berkualitas dan sesuai dengan standar yang ditetapkan.

Standar Minyak Ikan Internasional Fish Oil Standard (IFOS) 2014 menetapkan pedoman untuk menentukan kualitas minyak ikan. Standar ini menetapkan indikator seperti total oksidasi

$\leq 26,00$ meq/kg, peroksida (PV) $\leq 5,00$ meq/kg, anisidin $\leq 20,00$ meq/kg, dan asam lemak bebas (FFA) $\leq 1,5\%$ (IFOS, 2014). Semakin rendah nilai parameter oksidasi minyak ikan menandakan semakin baik kualitas minyak ikan tersebut. Selama ini bahan baku dari *by-product* perikanan tuna yang dijadikan sebagai sumber minyak ikan berasal dari bagian tulang, mata, daging, kepala, dan jeroan (Djamaludin et al., 2023; Istiqlaal, 2018; Rahmawati et al., 2024; Trilaksani et al., 2019; Zhang et al., 2019) 50, dan 60°C. Berdasarkan hal tersebut, *by-product caudal keel* tuna yang menjadi limbah pada industri pengolahan perikanan tuna belum dimanfaatkan secara optimal, sebagaimana potensi besar ini dapat dijadikan sebagai bahan baku minyak ikan yang menjanjikan. Hingga saat ini, penelitian mengenai potensi minyak ikan kasar yang diekstraksi menggunakan metode *dry rendering* dari *caudal keel* tuna, belum ada yang melaporkan secara khusus. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini sangat penting untuk dilakukan. Penelitian tersebut bertujuan untuk menentukan karakteristik dari *by-product caudal keel* tuna (*Thunnus albacares*) yang meliputi kandungan proksimat, logam berat, indeks aterogenik (IA) dan indeks trombogenik (IT). Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk memilih suhu serta waktu ekstraksi terbaik minyak ikan kasar *caudal keel* tuna yang menggunakan metode *dry rendering*, yang dianalisis berdasarkan karakteristik minyak ikan tersebut.

BAHAN DAN METODE

Peralatan and Bahan

Bahan baku utama yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sirip ekor (*caudal keel*) tuna yang diperoleh dari PT Indojoy Fortuna di Jakarta Utara, Indonesia. Bahan-bahan yang digunakan adalah etanol 96%, n-heksan (Merck), asam asetat glasial (Merck), kloroform (Merck), akuades, larutan pati 1%, kalium iodida (KI) jenuh, natrium tiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0,1 N indikator kanji (Merck), indikator fenolftalein (indikator PP) (Merck), isooktan (Merck), larutan p-anisidin (Merck), etanol 96% (Merck), Alkohol 95%, dan kalium hidroksida (Merck) 0,1 N.

Peralatan yang dipakai diantaranya pisau, telan, oven DHG 9053 A (Jiangsu Zhengji Instruments, Jintan, Cina), blender (Miyako, BL-152 PF-AP), loyang, timbangan digital 0.01 gram (Chq, Taiwan), botol schott duran (Duran Group, Germany), alumunium foil, erlenmeyer (Iwaki,

Indonesia), gelas ukur (Iwaki, Indonesia), pipet volum, bunsen, buret (Pyrex), kompor listrik (Maspion, Indonesia), spektrofotometer UV-VIS (Shimadzu, Jepang) dengan panjang gelombang 350 nm, kromatografi gas (Shimadzu, Jepang), pengaduk magnetik (RSM-14HP), penangas air, gelas beker (Pyrex), gelas ukur (Iwaki, Indonesia), dan tabung reaksi.

Preparasi Bahan

Caudal keel ikan tuna diperoleh dari industri fillet ikan tuna (*Thunnus albacares*) dalam bentuk beku, dan dimasukkan dalam coolbox untuk di transportasikan ke laboratorium minyak ikan Teknologi Hasil Perairan (THP) IPB. *Caudal keel* tuna dibersihkan menggunakan air dan dilakukan pemisahan antara daging, tulang, kulit dan ekor, selanjutnya, bagian tersebut dihomogenisasikan secara bersamaan, dan dilakukan analisis kandungan proksimat (protein, lemak, abu, serta karbohidrat) serta berat logam (Pb, Cd, Hg, dan As).

Ekstraksi Minyak Ikan

Ekstraksi dilakukan menggunakan metode *dry rendering*, yang telah dimodifikasi sesuai dengan Suseno et al. (2020). Masing-masing komponen *caudal keel* tuna yang terdiri dari daging, kulit, tulang, dan ekor dipisahkan dan dihitung proporsinya terlebih dahulu. Bagian-bagian tersebut diperkecil ukurannya dan dihaluskan secara bersamaan menggunakan blender. Selanjutnya, sekitar 500 gram bahan disiapkan, dimasukkan ke dalam wadah saringan, dan dioven pada rak atas dengan suhu 80, 90, dan 100°C selama 2, 3, dan 4 jam. Wadah aluminium yang diletakkan di bagian bawah oven digunakan untuk menampung minyak yang diekstraksi, kemudian dikeluarkan serta ditempatkan di dalam botol kaca berwarna gelap. Selanjutnya dilakukan karakteristik yang meliputi asam lemak bebas, profil lemak, nilai anisidin, bilangan peroksida, dan total oksidasi, profil asam lemak, serta indeks arterogenik (IA) dan indeks trombogenik (IT) untuk mengetahui kualitas minyak ikan tersebut.

Prosedur Analisis

Analisis Proksimat

Analisis komposisi kimia (air, protein, lemak, abu, dan karbohidrat) didasarkan pada metode AOAC (2005) dan dilakukan sebanyak dua kali ulangan.

Analisis Logam Berat Hg, Cd, Pb, dan As menggunakan *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer* (ICP-MS) berdasarkan (SNI 2354-23:2021).

Sekitar 0,5 hingga 1 g bahan sampel yang telah dihomogenisasi ditempatkan di dalam vessel, lalu proses spiking dilakukan. Selanjutnya, 2 mL HNO₃ suprapure®, 0,6225 mL H₂O₂ ultrapure, dan 8 mL UPW ditambahkan. Vessel kemudian ditempatkan di dalam microwave selama 30 menit hingga mencapai suhu <200°C. Setelah itu, vessel dibiarkan dingin hingga mencapai suhu di bawah 50°C. Larutan dimasukkan ke dalam tabung pp 50 mL serta diencerkan dengan UPW sampai 50 mL. Setelah 15 menit, larutan dihomogenisasi memakai vortex. Lalu, larutan masuk ke dalam tabung autosampler serta dilakukan pengukuran memakai ICP-MS. Rumus untuk menentukan konsentrasi Hg, Pb, Cd, serta As dalam logam adalah :

$$\text{Konsentrasi Hg, Cd, Pb, dan As (mg/kg)} = \frac{(D - E) \times V \times Fp}{W}$$

Keterangan:

D = Konsentrasi As, Pb, Cd, dan Hg (µg/L) dari larutan contoh yang diukur

E = Konsentrasi As (µg/L), Pb, Cd, dan Hg Pereaksi blangko yang dihitung

V = Volume pada akhir larutan contoh (L)

Fp = Faktor pengenceran

W = Berat contoh (g).

Perhitungan Rendemen

Rendemen minyak ikan (%) menunjukkan selisih antara jumlah minyak ikan yang diperoleh (g) melalui proses ekstraksi dengan berat *caudal keel tuna* (g) yang dipakai. Hitungan rendemen minyak ikan dilakukan yaitu:

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{Berat minyak ikan yang diekstraksi} \times 100\%}{\text{Berat bahan (g)}}$$

Analisis Free Fatty Acid (AOAC, 2005)

Sekitar 2,5 gram minyak ikan dan 25 mililiter alkohol 95% dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 250 mililiter. Setelah menangani sejumlah kecil ikan di udara sampai diperiksa secara menyeluruh selama sepuluh menit, kemudian didinginkan. Setelah itu, indikator fenolftalein (PP) sebanyak 2 mL ditambahkan. KOH 0,1 N digunakan untuk mengukur campuran dan melakukan titrasi hingga warna merah muda yang konsisten muncul setelah 10 hari. Persentase asam lemak bebas (FFA)

ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{FFA (\%)} = \frac{A \times N \times M}{10 \times G}$$

Keterangan:

A = Jumlah titrasi KOH (mL)

N = Normalitas larutan KOH

M = Bobot molekul asam pentadekanoat

G = Bobot bahan (g)

Analisis Bilangan Peroksida (AOAC, 2005)

Wadah Erlenmeyer 250 mL diisi dengan 2,5 gram minyak ikan dan 30 mL asam asetat glasial dan kloroform yang disusun menurut perbandingan 3:1. Kemudian ditambahkan 30 mL air suling dan 0,5 mL larutan KI jenuh. Setelah penambahan 0,5 mL larutan, larutan berubah menjadi biru kehitaman. Setelah itu, larutan dititrasi dengan larutan Na₂S₂O₃ 0,01 N hingga mencapai titik ekuivalen, yang ditandai dengan perubahan warna kuning jernih menjadi kuning. Dengan menggunakan rumus berikut, skor peroksida ditentukan:

$$PV = \frac{A \times N \times 1000}{G}$$

Keterangan:

A = Banyaknya titrasi Na₂S₂O₃ (mL)

N = Normalitas Na₂S₂O₃

G = Bobot bahan (g)

Analisis Bilangan p-anisidin (Watson, 1994)

2 larutan uji, larutan uji 1 serta 2, digunakan untuk menganalisis nilai p-AV. 1 gram sampel dilarutkan dalam 25 mililiter isooktana untuk membuat larutan uji 1. 5 mililiter larutan uji 1 dicampur dengan 1 mililiter larutan p-anisidin (2,5 g/L) untuk membuat larutan uji 2. Selain itu, disediakan juga larutan referensi 1 serta larutan referensi 2 sebagai pembanding. Larutan trimetilpentana berfungsi sebagai larutan referensi 1, serta larutan p-anisidin (2,5 g/L) ditambahkan ke dalam 5 ml larutan trimetilpentana untuk membuat larutan referensi 2. Setelah dihomogenisasi, kedua larutan uji ditutup dengan aluminium foil. Selanjutnya, dengan menggunakan larutan uji referensi 1 sebagai pembanding, absorbansi larutan uji 1 diukur pada panjang gelombang 350 nm dengan menggunakan spektrofotometer. Setelah sepuluh menit, larutan referensi 2 digunakan sebagai pembanding untuk menilai absorbansi larutan uji 2 pada panjang gelombang yang sama. Hitungan p-AV dilaksanakan menggunakan rumus :

$$p-AV = \frac{25 \times (1,2 \times A1-A2) \times 100\%}{M}$$

Keterangan:

A1 = Absorbansi larutan uji 1

A2 = Absorbansi larutan uji 2

M = Massa sampel yang digunakan dalam larutan uji 1 (gram)

Analisis Total Oksidasi

Perhitungan total oksidasi didasarkan pada penjumlahan 2 kali peroksida dengan nilai p-anisidin. Perhitungan nilai total oksidasi adalah sebagai berikut:

$$TOTOX = 2PV + p-AV$$

Keterangan:

PV = Peroxide value

p-AV = p-anisidine value

Analisis profil Asam Lemak (AOAC 2005)

20 miligram minyak dilarutkan dalam 1 mL NaOH (0,5 N) dan dilarutkan dengan metanol. Setelah 20 menit, sampel dianalisis menggunakan 2 mililiter boron trifluorida (BF₃ 20%) dan 5 mg / mL sebagai referensi. Setelah 20 menit, campuran tersebut diampifikasi dan dicampurkan kembali dengan menggunakan 1 mL isooktan dan 2 mL NaCl jenuh. Hasil dari percobaan diperoleh dan dicatat dalam tablet yang mengandung 0,1 g Na₂SO₄ anhidrat. Jumlah fasa minyak yang terbentuk diukur minimal 1 µL dalam standar FAME. Sampel kemudian ditambahkan ke instrumen GC dalam jumlah sekitar 1 µL.

$$\text{Asam Lemak (\%)} = \frac{\frac{A_x}{A_s} \times C_{\text{standar}} \times \frac{V_{\text{contoh}}}{100}}{\text{bobot contoh}} \times 100\%$$

Keterangan:

A_x = Luasnya area sampel

A_s = Luasnya area standard

C_{standar} = konsentrasi standar (Supelco 37)

V_{contoh} = Volume contoh

Aterogenik (IA) dan Indeks Trombogenik (IT)

Suatu faktor krusial yang dipakai untuk menilai gizi minyak adalah indeks aterogenik (IA) dan indeks trombogenik (IT). Indeks ini dianalisis dengan menggunakan metodologi yang dikembangkan oleh Ulbricht dan Southgate (1991). Banyak faktor yang digunakan untuk menentukan indeks kualitas lemak, seperti indeks aterogenik (IA), yang mengurangi korelasi antara lemak jenuh primer serta lemak tak

jenuh primer. Persamaan yang dapat digunakan untuk menganalisis indeks aterogenik adalah sebagai berikut:

$$IA = \frac{[(4 \times C_{14:0}) + C_{16:0} + C_{18:8}]}{[\Sigma MUFA + \Sigma PUFA + n_6 + \Sigma PUFA - n_3]}$$

Indeks trombogenik (IT) menunjukkan aktivitas yang dapat membentuk gumpalan dalam pembuluh darah. Persamaan berikut dapat menganalisis indeks trombogenik.

$$IT = \frac{(C_{14:0}) + C_{16:0} + C_{18:0}}{0.5 MUFA + 0.5 PUFA - n_6 + 3 PUFA - n_3 + PUFA - N_3/PPUFA - n_6}$$

Analisis data

Data deskriptif tentang karakteristik caudal keel tuna, termasuk komposisi proksimat yang mencakup (kadar air, protein, lemak, abu, dan karbohidrat), profil lemak, dan berat logam (Pb, Cd, hg, dan As). Selain itu, analisis juga mencakup kenampakan warna minyak, indeks aterogenik (IA) dan indeks trombogenik (IT), yang keduanya disajikan dalam bentuk rata-rata serta standar deviasi. Analisis asam lemak bebas, bilangan peroksida, nilai anisidin, total oksidasi, dan analisis rendemen dievaluasi dengan menggunakan Analisis Rancangan Acak Lengkap Faktorial dengan dua faktor, yaitu suhu dan waktu ekstraksi. Setiap percobaan dilakukan sebanyak dua kali ulangan. Data dianalisa melalui analisis varians (ANOVA) di tingkat signifikansi 5% menggunakan perangkat lunak IBM SPSS 25 untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan yang signifikan. Jika analisis anova menunjukkan pengaruh yang signifikan ($p < 0,05$), maka dilakukan uji lanjut Duncan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bobot dan Rendemen Caudal Keel Tuna

Bobot rata-rata caudal keel tuna yang digunakan adalah 656,67±60,28 g. Bagian dari caudal keel tuna yang diterapkan pada setudi berikut tersusun atas 3 komponen yakni daging, kulit, tulang, dan ekor. Proporsi dari masing-masing bagian yaitu daging 110,33±9,81 g, kulit 131±15 g, tulang 143,67±9,81 g, dan ekor 191,67±10,41. Rendemen yang dihasilkan dari penelitian sebesar 0,83-1,31% dari berat total ikan. Caudal keel tuna disajikan pada Gambar 1. Caudal keel yang terdapat pada ikan berperan dalam gerakan renang, dengan fungsi sebagai pendorong sirip ekor saat ikan bergerak maju serta berbelok ke kiri atau ke kanan. Caudal keel yang

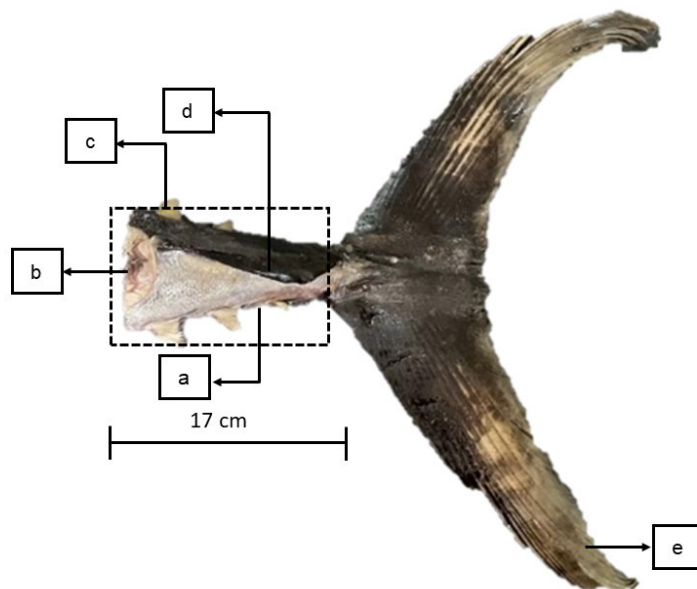
terdapat pada ikan ditandai dengan adanya otot renang yang kuat dan bentuk ekor yang berbeda, seperti bulat, berbingkai tegak, berlekuk ganda berlekuk, bulan sabit, garpu. Bentuk ekor tersebut memberikan keseimbangan antara kecepatan dan kemampuan manuver yang cepat. Sebagaimana ikan tuna dikenal sebagai salah satu ikan perenang tercepat di laut, yang mampu mencapai kecepatan berenang hingga 75 km/jam (Rahardjo, 2020).

Komposisi Proksimat Bahan Baku Caudal Keel Tuna

Tujuan dari pengujian komposisi kimia caudal keel tuna adalah untuk mengetahui kandungan gizi, terutama kandungan lemak. Pengujian ini meliputi kadar air, abu, protein, lemak dan karbohidrat.

Komposisi kimia caudal keel tuna disajikan pada Tabel 1.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa komponen terbesar pada caudal keel tuna adalah kadar air, yakni 67,68%. Perolehan hasil penelitian yang dilakukan masih lebih tinggi jika dibandingkan dengan hasil penelitian Suseno (2015) sebesar 67,27%. Selain itu, penelitian Chanmangkang et al. (2022) juga menunjukkan bahwa kadar air pada sirip ekor Katsuwonus pelamis sebesar 71,08%, yang juga lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian ini. Perbedaan ukuran ikan diduga berpengaruh terhadap nilai kadar air. Hal ini disebabkan oleh perbedaan komposisi jaringan tubuh ikan, ikan yang lebih besar cenderung memiliki lebih banyak jaringan lemak dan otot, yang dapat mempengaruhi



Keterangan/Description: Garis putus berbentuk kotak sebagai penanda bagian caudal keel yang dijadikan sebagai sumber bahan baku minyak ikan/Box-shaped dashed line marks the caudal keel section used as a raw material for fish oil

Gambar 1. Sirip ekor (*Thunnus albacares*): (a) Kulit; (b) Daging; (c) Finlet; (d) Caudal keel; (e) Ekor
Figure 1. Tail fin of (*Thunnus albacares*): (a) skin; (b) meat; (c) Finlet; (d) Caudal keel ; (e) Tail

Tabel 1. Kandungan proksimat caudal keel tuna (*Thunnus albacares*)

Table 1. Proximate composition of caudal keel tuna (*Thunnus albacares*)

| Parameter/Parameter (%) | Persentasi (% berat basah)/ Percentage (% wet weight) | | |
|--------------------------|---|--------------------|---------------------------|
| | <i>Thunnus albacares</i> | <i>Thunnus sp.</i> | <i>Katsuwonus pelamis</i> |
| Air/Moisture | 67.68 ± 0.57 | 67.27 | 71.08 |
| Lemak/Fat | 3.32 ± 0.03 | 3.35 | 4.22 |
| Abu/Ash | 3.31 ± 0.01 | 5.25 | 0.18 |
| Protein/Protein | 22.29 ± 0.87 | 22.90 | 21.67 |
| Karbohidrat/Carbohydrate | 3.42 ± 0.28 | 0.28 | 2.85 |

total kadar air. Sebaliknya, ikan yang lebih kecil memungkinkan memiliki proporsi air yang lebih tinggi terhadap massa tubuhnya (Winarno, 2008). Menurut Belit zet et al. (2009) terdapat korelasi antara kadar air dan kadar lemak. Artinya, jika kandungan air pada suatu bahan baku semakin tinggi, maka kandungan kadar lemak yang dihasilkan semakin rendah, dan sebaliknya.

Persentase kadar lemak caudal keel tuna berada pada urutan ke 4 setelah kadar air, protein, dan karbohidrat. Kandungan lemak caudal keel tuna (*Thunnus albacares*) dalam penelitian ini adalah $3,32 \pm 0,03\%$, yang tidak berbeda jauh dengan hasil penelitian (Suseno, 2015) $3,32\%$. Chanmangkang et al. (2022) dalam risetnya menyatakan bahwa kadar lemak sirip ekor Katsuwonus pelamis mejadi komponen terbesar ketiga setelah kadar air dan protein, yakni $4,22\%$. Kandungan lemak pada caudal keel tuna yang diperoleh dalam penelitian ini masih lebih rendah jika dibandingkan dengan kadar lemak yang terdapat pada bagian mata, yakni $18,04\%$ (Trilaksani et al., 2020), kepala $4,80\%$ (Li et al., 2019), serta jeroan dan hati masing-masing $19,01\%$ dan $17,03\%$ (Djamaludin et al., 2023). Sedangkan kadar lemak pada bagian caudal keel tuna pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan kandungan lemak dari *by-product* dalam penelitian Suseno (2015), seperti kulit dan gonad yang masing-masing sebesar $3,13\%$ dan $1,68\%$, serta daging dan gelembung renang $0,51\%$ dan $1,64\%$ (Hadinoto & Idrus 2018). Berdasarkan Apituley et al. (2020), menyatakan bahwa banyaknya rendemen minyak ikan yang dihasilkan sebanding dengan kadar lemak ikan yang dimiliki. Selain itu, Pandey et al. (2018) menjelaskan bahwa faktor seperti spesies, musim, geografi, umur, dan kematangan gonad dapat memengaruhi perbedaan kadar lemak di antara spesies ikan yang sama. Ikan dapat dibagi menjadi tiga kelompok berdasarkan kadar lemaknya, lemak rendah ($2-4\%$), lemak sedang ($4-8\%$), serta lemak tinggi ($>8\%$).

Analisis Logam Berat

Analisis logam berat caudal keel tuna (*Thunnus albacares*) untuk mengetahui jumlah arseni (As), merkuri (Hg), kadmium (Cd), dan timbal (Pb) yang ditemukan. Tujuan dari analisis ini adalah untuk menilai berat cemaran di daerah ekor tuna. Hasil analisis logam ditampilkan pada Tabel 2.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa caudal keel tuna mengandung Pb, Cd, Hg, dan As. Jumlah logam tersebut masih berada di bawah ambang batas Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) untuk kontaminasi logam dalam produk perikanan. Menurut BPOM 2019, batasan maksimal cemaran logam pada pangan terdiri dari arseni (As) $\leq 5,0$, merkuri (Hg) $\leq 0,5$, kadmium (Cd) $\leq 0,3$, dan timbal (Pb) $\leq 10,0$. Menurut BPOM (2019), cemaran logam berat adalah unsur logam dan metaloid dengan bobot tinggi yang tidak lazim ditemukan dalam pangan dan dapat merugikan, mengganggu, dan membahayakan kesehatan manusia. Handayani et al. (2019) kandungan merkuri (Hg) sekitar $0,05 \pm 0,02$ mg/kg untuk kelompok ikan Samudera Pasifik dengan berat $1-10$ kg/ekor dan $0,33 \pm 0,014$ mg/kg untuk kelompok ikan Samudera Hindia dengan berat >100 kg/ekor. Logam berat Pb, Cd, Hg, dan As pada tubuh ikan tuna dipengaruhi oleh migrasi tuna dan kondisi penangkapan, yang memungkinkan terjadinya bioamplifikasi dan biomagnifikasi secara terus menerus melalui konsumsi makanan (Digoarachchi et al., 2022; Kolita et al., 2015).

Rendemen ekstraksi minyak caudal keel tuna

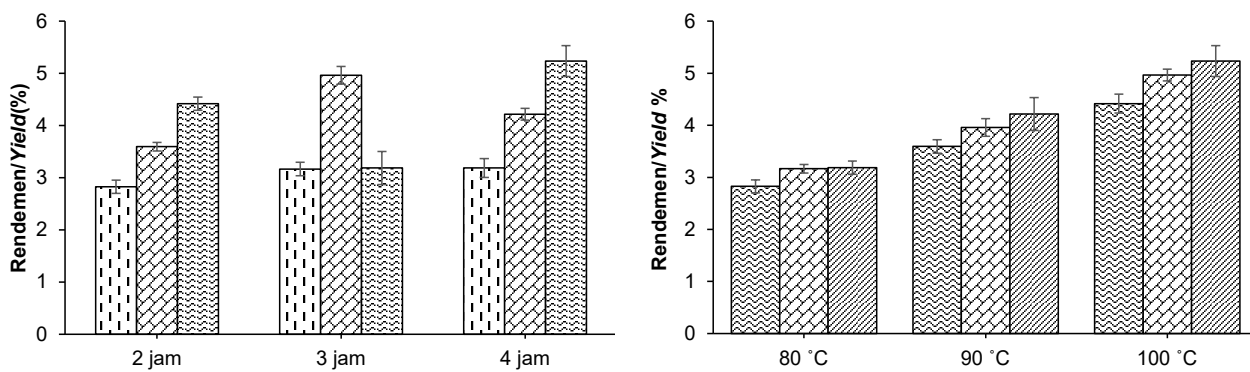
Nilai rendemen minyak ikan dihitung dengan membandingkan berat hasil sampel dengan hasil sampel awal. Hasil perhitungan rendemen minyak caudal keel tuna dari proses ekstraksi menggunakan metode dry rendering disajikan pada Gambar 2.

Rendemen minyak ikan dipengaruhi secara signifikan ($p < 0,05$) oleh perlakuan suhu serta

Tabel 2. Kandungan logam berat (Pb, Cd, Hg, As) caudal keel tuna (*Thunnus albacares*)

Table 2. Heavy metals (Pb, Cd, Hg, As) in caudal keel tuna (*Thunnus albacares*)

| Parameter/Parameter | Persentase (mg/kg)/ Percentage (% wet weight) | BPOM (2019) (mg/kg) |
|---------------------------|--|------------------------|
| Timbal (Pb)/Lead (Pb) | 0.49 ± 0.00 | ≤ 10.0 |
| Kadmium (Cd)/Cadmium (Cd) | 0.06 ± 0.00 | ≤ 0.3 |
| Merkuri (Hg)/Mercury (Hg) | 0.02 ± 0.00 | ≤ 0.5 |
| Arsen (As)/Arsenic (As) | 0.70 ± 0.00 | ≤ 5.0 |



Keterangan/Notes: Notasi huruf superskrip (a, b, dan c) yang berbeda memperlihatkan beda nyata <0.05 . Garis vertikal (bar) merupakan standar deviasi/Different superscript letters (a, b, and c) indicate significant difference <0.05 . Vertical lines (bars) represent standard deviation

Gambar 2. Diagram batang: a) Pengaruh suhu dan b) Pengaruh waktu terhadap rendemen minyak ikan caudal keel tuna perolehan ekstraksi dry rendering 2 jam; 3 jam; 4 jam; 80°C; 90°C; 100°C

Figure 2. Bar chart: a) Effect of temperature and b) effect of time on the yield of fish oil extracted from caudal keel tuna using dry rendering method; 2 hours; 3 hours; 4 hour; 80°C; 90°C; 100°C

waktu ekstraksi, tetapi tidak signifikan oleh interaksi suhu dan waktu, dan jumlah rendemen semakin meningkat (Gambar 2a). Temuan studi berikut selaras dengan studi yang dilakukan oleh Estiasih (2009), Nugroho et al. (2014), dan Wu & Bechtel (2008) yang menyatakan bahwa, suhu ialah suatu faktor yang berdampak terhadap rendemen minyak ikan yang dihasilkan. Hal ini selaras dengan temuan Kamini et al. (2016), yang mengemukakan, suhu ekstraksi yang digunakan memiliki dampak pada kerusakan dinding matriks pada membran lipid. Oleh karena itu, jumlah minyak yang dihasilkan secara bertahap bertambah sejalan dengan meningkatnya suhu serta waktu ekstraksi. Berlandaskan hasil penelitian, rendemen tertinggi didapatkan dari ekstraksi suhu 100°C sampai 4 jam dengan rendemen 5,24%, sedangkan rendemen terendah diperoleh di suhu ekstraksi 80°C selama 2 jam, dengan rendemen 2,83%. Rendahnya rendemen yang dihasilkan disebabkan oleh penggunaan suhu rendah, yang tidak dapat mengekstrak minyak dengan baik. Akibatnya, minyak masih banyak terperangkap di dalam jaringan lipid. Peningkatan rendemen juga terjadi secara signifikan, seperti yang ditunjukkan oleh waktu ekstraksi (Gambar 2b). Hasil penelitian ini secara signifikan masih lebih tinggi jika dibandingkan dengan hasil penelitian Andhikawati (2020); Rahmawati et al. (2024) melaporkan nilai rendemen minyak ikan yang diekstraksi dari daging ikan tuna sebesar 0,49 persen dan daging ikan tongkol sebesar 0,90 persen.

Hasil uji duncan menunjukkan bahwa hasil percobaan pada suhu 80, 90, dan 100°C berbeda

secara signifikan. Sementara itu, hasil ekstraksi 2 jam, berbeda nyata dengan waktu 3 dan 4 jam. Namun, tidak ada perbedaan nyata antara waktu ekstraksi 3 dan 4 jam. Hal ini disebabkan pada waktu ekstraksi 3 jam, sebagian besar minyak dalam jaringan lemak ikan sudah terekstrak, sedangkan pada waktu 4 jam, proses ekstraksi yang memungkinkan sudah mencapai fase keseimbangan, dimana jumlah minyak yang terekstrak hampir maksimal, sehingga penambahan waktu tidak menghasilkan perbedaan yang signifikan. Rendemen yang diperoleh tidak ada bedanya yang nyata melalui hasil studi Suseno et al. (2021) yang mengekstrak minyak ikan dari perolehan hasil samping ikan nila melalui metode dry rendering pada suhu 70°C selama tiga jam memperoleh rendemen sebesar 7,25%. Penggunaan pemanasan dapat menyebabkan denaturasi protein, sedangkan suhu yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan protein, sehingga memudahkan keluarnya minyak. Selain itu, ketika waktu ekstraksi meningkat, jumlah minyak yang terekstrak akan meningkat, yang disebabkan oleh rusaknya jaringan adiposa. Menurut Efendi et al. (2020), setiap bahan baku yang digunakan akan memiliki hasil yang berbeda-beda. Hal ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kualitas bahan baku, metode ekstraksi, lemak atau minyak yang terdapat pada bahan baku, dan faktor lainnya.

Parameter oksidasi minyak caudal keel tuna

Parameter oksidasi minyak ikan digunakan untuk mengevaluasi sejauh mana minyak ikan telah

Tabel 3. Data parameter oksidasi minyak ikan caudal keel tuna dengan perbedaan suhu dan waktu ekstraksi

Table 3. The parameter data of oxidation of caudal keel tuna fish oil with differences in temperature and extraction time

| Perlakuan Suhu/ Treatment Temperature (°C) | Waktu Ekstraksi/ Extraction Time (Jam/ Hours) | Parameter/Parameter | | | |
|--|---|---------------------------------------|---|--|--|
| | | Asam Lemak Bebas/ Free Fatty Acid (%) | Bilangan Peroksida/ Peroxide Value (meq/kg) | Bilangan P-Anisidin/ Anisidin Value (meq/kg) | Total Oksidasi/ Total Oxidization (meq/kg) |
| 80 | 2 | 1.21 ± 0.11 ^{Aa} | 17.50 ± 0.35 ^{Aa} | 12.05 ± 0.40 ^{Aa} | 47.02 ± 0.29 ^{Aa} |
| | 3 | 1.86 ± 0.12 ^{Aa} | 18.92 ± 1.11 ^{Ab} | 16.68 ± 0.55 ^{Ab} | 54.52 ± 2.75 ^{Ab} |
| | 4 | 2.02 ± 0.11 ^{Ab} | 20.69 ± 1.39 ^{Aa} | 14.73 ± 0.72 ^{Ab} | 56.10 ± 3.51 ^{Aa} |
| 90 | 2 | 1.88 ± 0.12 ^{Aa} | 22.58 ± 1.68 ^{Ba} | 18.24 ± 0.54 ^{Ba} | 63.39 ± 3.89 ^{Ba} |
| | 3 | 1.71 ± 0.10 ^{Aa} | 25.43 ± 0.44 ^{Bb} | 15.78 ± 0.21 ^{Bb} | 66.64 ± 0.66 ^{Bb} |
| | 4 | 1.80 ± 0.00 ^{Ab} | 22.36 ± 1.12 ^{Ba} | 16.79 ± 1.01 ^{Bb} | 61.76 ± 2.89 ^{Ba} |
| 100 | 2 | 2.20±0.11 ^{Ba} | 25.25±1.40 ^{Ba} | 19.13±0.46 ^{Ca} | 69.63±3.27 ^{Ca} |
| | 3 | 1.62±0.23 ^{Ba} | 26.36±1.04 ^{Bb} | 21.17±0.28 ^{Cb} | 73.88±2.36 ^{Cb} |
| | 4 | 2.19±0.12 ^{Bb} | 18.97±0.91 ^{Ba} | 24.03±0.48 ^{Cb} | 61.96±2.30 ^{Ca} |

Keterangan/Note: Huruf superskrip yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan ($p < 0,05$). Huruf kapital A,B,C (suhu); huruf kecil a,b (waktu)/Distinctive superscript letters within the same column demonstrate a significant distinction ($p < 0,05$). Capital letters A, B, C (Temperature); lowercase letters a, b (Time)

mengalami oksidasi. Asam lemak bebas (FFA), nilai peroksida, p-anisidin, serta total oksidasi. Perolehan uji parameter oksidasi ditampilkan di Tabel 3.

Asam lemak bebas (FFA) ialah jenis lemak yang ditemukan dalam bentuk bebas serta tidak ditemukan dalam bentuk trigliserida (Ketaren, 2012). Pembentukan FFA terjadi akibat proses hidrolisis trigliserida yang menyebabkan terjadinya pelepasan antara asam lemak dan gliserol. FFA ialah suatu faktor terpenting dalam penentuan kualitas minyak ikan yang dihasilkan. Berbagai faktor yang dapat mempengaruhi proses oksidasi FFA, seperti suhu, konsentrasi oksigen, logam, aktivitas udara, antioksidan, dan katalis. Hal ini terutama dipengaruhi oleh jumlah ikatan rangkap yang terdapat pada asam lemak (Suseno et al., 2018). Hasil penelitian menunjukkan bahwa seiring dengan meningkatnya suhu ekstraksi serta waktu, nilai FFA juga meningkat (Tabel 4). Perbedaan suhu serta waktu ekstraksi memberi dampak yang signifikan ($p < 0,05$) terhadap nilai FFA yang diperoleh.

Berdasarkan hasil penelitian ini, perlakuan pada suhu 80°C selama dua jam serta pada suhu 90°C semasa 4 jam memberikan hasil terbaik, dan memenuhi standar IFOS (2014), yaitu <1,5%. Pada suhu 90°C selama 4 jam, skor FFA mengalami penurunan sebesar 40% dibandingkan dengan

perlakuan suhu 80°C semasa 4 jam. Namun, pada suhu 100°C selama 4 jam, nilai FFA kembali meningkat sebesar 81%. Penurunan nilai FFA pada suhu 90°C selama 4 jam diduga disebabkan oleh adanya reaksi kesetimbangan, yang memperoleh ikatan gliserol dan ester pada FFA, yang akhirnya menyebabkan penurunan nilai FFA pada suhu tersebut.

FFA maksimum ditemukan pada suhu 100°C selama dua jam, yang menghasilkan peningkatan sebesar 59%. Kandungan FFA pada minyak ikan caudal keel tuna dalam penelitian ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian Djamaludin et al. (2023) yang mengukur FFA pada minyak ikan tuna *Euthynus affinis*, yang berasal dari hasil samping kepala, yaitu sekitar 1,8% meq/kg. Selain itu, nilai FFA yang diperoleh dari penelitian ini secara signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan Yulianto et al. (2022) yang melaporkan nilai FFA sebesar 1,36±0,09% untuk minyak kasar yang diperoleh dari proses pengalengan. Hidrolisis triasilgliserol dan oksidasi yang disebabkan oleh radikal bebas menjadi penyebab peningkatan FFA (Suseno et al., 2021).

Faktor terpenting dalam menentukan oksidasi adalah bilangan peroksida, yang digunakan untuk menentukan jumlah hidroperoksida dalam minyak

(Šimat et al., 2019). Hidroperoksida merupakan hasil dari lemak tak jenuh yang bereaksi dengan oksigen bebas. Peningkatan jumlah hidroperoksida mengindikasikan penurunan kualitas minyak. Hasil analisis peroksida pada minyak kasar caudal keel tuna pada semua suhu dan waktu menunjukkan bahwa semua sampel tidak memenuhi standar IFOS (2014), yang menetapkan batas minimum ≤ 5 mEq/kg. Sementara, perolehan analisa ragam menunjukkan bahwa terdapat interaksi antara kedua faktor tersebut secara signifikan ($p < 0,05$) pada nilai peroksida yang berbentuk. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, keseimbangan peroksida secara bertahap meningkat seiring dengan naiknya suhu ekstraksi (Tabel 3). Nilai peroksida terendah diperoleh pada proses ekstraksi di suhu 80°C sampai 2 jam, yang menunjukkan perolehan yang tidak berbeda secara signifikan dibandingkan dengan ekstraksi pada suhu yang sama selama 3 jam.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai peroksida minyak kasar ikan tongkol secara signifikan lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Aditia et al. (2014), yakni 8,31 mEq/kg. Aprillia et al. (2023); Yulianto et al. (2022) yang mencatat nilai peroksida minyak ikan tuna kasar hasil pengalengan masing-masing sebesar 15 mEq/kg serta 18,87 mEq/kg. Pada suhu 80°C selama 3 jam mengalami peningkatan sebesar 39% ketika suhu dinaikkan menjadi 100°C dalam durasi waktu yang sama. Kenaikan nilai peroksida dipengaruhi oleh jumlah asam lemak tak jenuh, terutama asam lemak omega-3, yang berlimpah dalam minyak caudal keel tuna. Bahkan pada suhu kamar, asam lemak omega-3 cukup rentan terhadap oksidasi karena berbentuk cair serta sangat tidak jenuh, sehingga sangat rentan terhadap oksidasi, karena banyaknya ikatan rangkap yang ada di sana, membuatnya tidak stabil (Kazuo, 2019). Namun, terjadi penurunan nilai peroksida sebesar 15% pada suhu 100°C selama 4 jam. Penurunan ini diperkirakan disebabkan oleh perubahan jumlah oksigen terlarut dalam bahan. Aditia et al. (2014) menjelaskan keberadaan lemak omega-3 pada spesies ikan dapat berkontribusi terhadap variasi nilai peroksida pada minyak ikan kasar yang dihasilkan. Seiring dengan meningkatnya jumlah asam lemak omega-3 pada ikan tersebut, semakin tinggi pula nilai peroksida yang terdapat dalam minyak ikan yang dihasilkan.

Menurut (Farssi et al., 2018; La Dia et al., 2022) p-anisidin merupakan pengukuran oksidasi sekunder yang melibatkan penentuan jumlah aldehida untuk menilai tingkat oksidasi asam lemak tak jenuh dalam lemak. Hasil penelitian menunjukkan

bahwa ikan kasar dari ikan tuna caudal keel hasil ekstraksi pada berbagai suhu dan waktu telah melebihi standar IFOS (2014), yaitu 28,97 meq/kg. Selain itu, hasil ekstraksi menunjukkan pengaruh yang signifikan ($p < 0,05$) terhadap nilai p-anisidin yang terbentuk dan terdapat interaksi antara kedua faktor tersebut (Tabel 3). Suhu ekstraksi yang menunjukkan perbedaan yang signifikan adalah pada 80°C , dibandingkan dengan suhu 90°C serta 100°C . Di suhu 80°C selama 2 jam, sebagai nilai p-anisidin yang terendah. Sementara itu, di suhu 100°C sampai 4 jam, terjadi peningkatan p-anisidin sebesar 63%. Peningkatan ini sejalan dengan nilai peroksida yang terbentuk. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa nilai p-anisidin dari minyak kasar caudal keel tuna yang dihasilkan tetapi lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian Aprillia et al. (2023); Yulianto et al. (2022) yang masing-masing mencatat nilai $8,81 \pm 2,45$ meq/kg dan $7,54 \pm 0,53$ meq/kg dari minyak kasar hasil pengalengan ikan tuna. Produk oksidasi yang diukur menggunakan bilangan anisidin merupakan hasil dekomposisi dari pembentukan hidroperoksida. Tingginya nilai p-anisidin dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor misalnya suhu dan waktu ekstraksi. Estiasih, (2009); Yoshiara (2013) menyatakan bahwa semakin lama waktu ekstraksi, semakin besar jumlah p-anisidin yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena proses dekomposisi berlangsung secara maksimal, sehingga oksidasi sekunder pun meningkat.

Total oksidasi adalah jumlah dari hasil oksidasi pertama dan kedua, yang diperoleh dengan membandingkan nilai anisidin dan peroksida sebanyak dua kali. Penelitian ini mengevaluasi kualitas ikan secara keseluruhan berdasarkan parameter oksidasi primer dan sekunder (Tabel 3). Penelitian menunjukkan bahwa minyak ikan kasar caudal keel tuna, di semua perlakuan suhu dan waktu ekstraksi, tidak memenuhi standar IFOS (2014 yang menetapkan batas maksimum sebesar ≤ 26 meq/kg. Analisis varians menunjukkan bahwa perlakuan suhu serta waktu memiliki pengaruh yang signifikan terhadap total oksidasi yang dihasilkan ($p < 0,05$), dan kedua faktor tersebut saling berinteraksi. Total oksidasi meningkat seiring dengan meningkatnya suhu dan waktu ekstraksi. Pada suhu 80°C selama 2 jam, diperoleh nilai total oksidasi terendah. Namun, peningkatan sebesar 48% terjadi pada suhu 100°C dengan waktu ekstraksi yang sama. Ketika suhu dinaikkan dari 80°C selama 3 jam ke 100°C selama 3 jam, nilai total oksidasi meningkat sebesar 36%. Meskipun begitu, terdapat penurunan nilai total oksidasi ketika suhu dijaga pada 100°C selama 4 jam. Perubahan ini tidak menunjukkan perbedaan signifikan saat

dibandingkan dengan nilai pada 90°C dalam waktu yang sama. Hal ini disebabkan oleh penurunan nilai peroksida yang teramati pada suhu 90°C dan 100°C selama 4 jam. Nilai total oksidasi yang diperoleh dalam penelitian ini masih lebih tinggi dibandingkan dengan minyak ikan patin yang diekstrak dengan metode dry rendering, yang mencatatkan angka sebesar 27,92 mEq/kg (Suseno et al., 2020). Total oksidasi ini berkaitan erat dengan kualitas minyak, semakin rendah nilai total oksidasi primer serta sekunder, semakin baik pula kualitasnya (O'Brian 2009).

Profil Asam Lemak Minyak Ikan caudal Keel Tuna Hasil Ekstraksi

Tujuan dari evaluasi profil lemak adalah untuk menentukan jumlah asam lemak jenuh (SFA), asam lemak tak jenuh tunggal (MUFA), serta asam lemak tak jenuh ganda (PUFA) yang terdapat pada caudal keel tuna. Profil asam lemak minyak ikan caudal keel tuna disajikan di Tabel 4.

Pengujian profil asam lemak minyak ikan dilakukan pada perlakuan suhu dan waktu ekstraksi terbaik, yaitu pada suhu 80°C selama 2. Analisis profil

Tabel 4. Profil asam lemak hasil ekstraksi terpilih minyak caudal keel tuna (*Thunnus albacares*)

Table 4. The fatty acid profile of caudal keel tuna (*Thunnus albacares*) oil extraction

| Struktur/ Structure | Asam Lemak/Fatty Acid | Asam lemak (%b/b)/ Fatty acid (%b/b) |
|--|---|---|
| C4:0 | Asam Butirat/Butyric Acid | 0.07 |
| C14:0 | Asam Miristat/Myristic Acid | 1.98 |
| C15:0 | Asam Pentadekanoat/Pentadecanoic Acid | 0.74 |
| C16:0 | Asam palmitat/Palmitic Acid | 10.87 |
| C17:0 | Asam Heptadekanoat/Heptadecanoic Acid | 0.91 |
| C18:0 | Asam Stearat/Stearic Acid | 3.92 |
| C20:0 | Asam Arakidat/Arachidic Acid | 0.27 |
| C22:0 | Asam Behenat/Behenic Acid | 0.20 |
| C23:0 | Asam Trikosanoat/Tricosanoic Acid | 0.09 |
| C24:0 | Asam Lignoserat/lignoceric Acid | 0.10 |
| Total Saturated Fatty Acid (SFA) | | 19.15 |
| C16:1 | Asam Palmitoleat/Palmitoleic Acid | 3.30 |
| C17:1 | Cis-10,-Heptadekanoat/Cis-10,-Heptadecenoic Acid | 0.54 |
| C18:1n-9c | Asam Oleat/Oleic Acid | 6.37 |
| C18:1n-9t | Asam Elaidat/Elaidic Acid | 0.12 |
| C20:1 | Cis-11-Eikosanoat/Cis-11-Eicosenoic Acid | 1.13 |
| C24:1 | Asam Nervonat/Nervonic Acid | 0.65 |
| Total Monounsaturated Fatty Acid (MUFA) | | 12.11 |
| C18:2n-6c | C-Asam Linoleat/C-Linoleic Acid | 0.08 |
| C18:2n-9t | Asam Linolelaidat/Linolelaidic Acid | 0.85 |
| C18:3n-3 | Asam Linoleat/Linoleic Acid | 0.40 |
| C20:2 | Cis-11,14-Eikosadienoat/Cis-11,14-Eicosadienoic Acid | 0.28 |
| C20:3n-6 | Cis-8,11,14,-Eikosatrienoat/Cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid | 0.10 |
| C20:3n-3 | Asam Eikosatrienoat/Eicosatrienoic Acid | 0.12 |
| C20:4n-6 | Asam Arakidonat/Arachidonic Acid | 1.69 |
| C20:5n-3 | Asam Eikosapentaenoat/Eicosapentaenoic Acid | 8.40 |
| C22:1n-9 | Asam Erusik Methyl Ester/Erucic Methyl Ester | 0.15 |
| C22:6n-3 | Asam Dokosaheksaenoat/Docosahexaenoic Acid | 21.77 |
| Total Polyunsaturated Fatty Acid (PUFA) | | 33.84 |

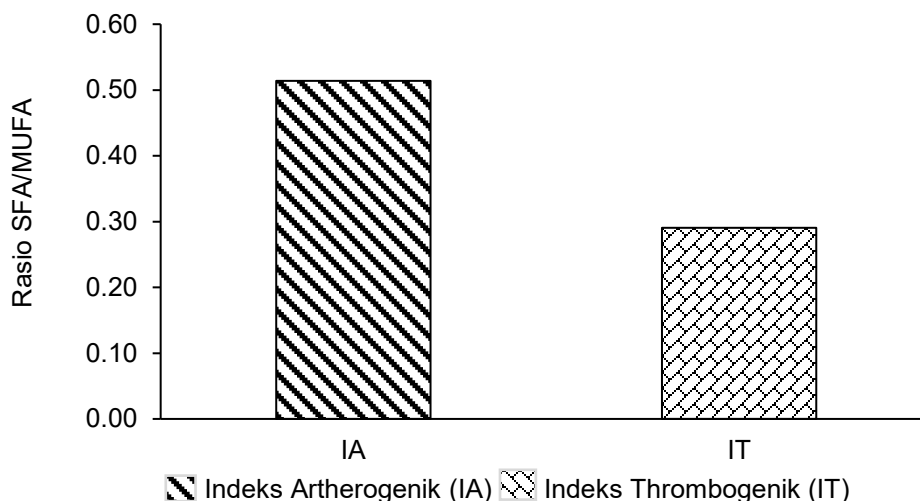
asam lemak pada caudal keel tuna menunjukkan bahwa asam lemak yang melimpah tersusun atas SFA, MUFA, serta PUFA, dengan masing-masing asam lemak utama yaitu palmitat, asam oleat, dan asam dokosaheksaenoat (DHA). Kandungan asam lemak tertinggi pada PUFA ditemukan pada DHA dan EPA, yaitu masing-masing sebesar 21,77% dan 8,40%. Penelitian lain juga mengungkapkan bahwa senyawa PUFA yang dominan dalam minyak ikan *Thunnus* sp. dari pengalengan ialah DHA serta EPA (Aprillia et al., 2023). Komposisi asam lemak minyak ikan berbeda-beda karena bahan baku serta metode ekstraksi minyak yang digunakan. Albert et al. (2015) kandungan DHA dan EPA ialah indikator krusial saat dalam menentukan kualitas minyak ikan. Pada minyak caudal keel tuna, asam lemak jenuh (SFA) didominasi oleh asam palmitat, yang mencapai 10,87%. Temuan ini selaras pada temuan Apituley et al. (2020) yang membuktikan bahwasannya asam palmitat mendominasi kandungan SFA pada minyak kepala serta tulang ikan tuna, masing-masing sebesar 13,13% serta 12,35%. Šimat et al. (2019) mengungkapkan bahwa ikan secara alami mengandung asam lemak palmitat, yang berfungsi sebagai sumber energi metabolisme selama pertumbuhan. Asam oleat, sebesar 6,37%, merupakan asam lemak tak jenuh tunggal (MUFA) yang paling dominan dalam minyak ikan caudal keel tuna. Hal ini selaras dengan temuan Suseno et al. (2019) yang membuktikan bahwasannya kandungan asam oleat pada minyak

tuna kasar dapat mencapai 12,96%. Asam oleat, yang merupakan asam lemak tak jenuh rangkap tunggal, berfungsi untuk menurunkan kadar kolesterol dalam tubuh dan berperan sebagai prekursor pembentukan asam lemak tak jenuh ganda (PUFA) (Farouk et al., 2007).

Indeks Atherogenic (AI) dan Indeks Thrombogenic (IT)

Asam lemak tak jenuh dan asam lemak jenuh adalah dasar untuk mengevaluasi IA dan IT. Sebagai contoh, seperti yang ditunjukkan oleh profil lemak pada Tabel 4. Hasil IA dan IT dari penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.

Komposisi asam lemak pada minyak caudal keel tuna telah diteliti, bersamaan dengan indeks lipid kesehatan yang terkait. Indeks aterogenik memberikan informasi tentang kategori utama asam lemak tak jenuh dan jumlah keseluruhan asam lemak jenuh. Nilai Indeks Aterogenik (IA) dan Indeks Trombogenik (IT) dihitung berdasarkan proporsi asam lemak jenuh terhadap asam lemak tak jenuh. Hasil yang diperoleh menunjukkan kandungan asam lemak monounsaturated fatty acids (MUFA) masih lebih rendah dibandingkan dengan asam lemak polyunsaturated fatty acids (PUFA), dan kedua komponen berhubungan dengan nilai IA dan IT. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai IA dan IT masing-masing adalah 0,51 dan 0,29. Rendahnya nilai IA dan IT ini dapat memberikan manfaat pada



Gambar 3. Indeks Atherogenik (IA) dan Indeks Thrombogenic (IT) minyak caudal keel tuna
 Figure 3. Atherogenic index (AI) and Thrombogenic Index (TI) of caudal keel tuna

pengurangan risiko penyakit jantung koroner serta pembekuan darah. Menurut Boscaino et al. (2014), bahan pangan atau produk pangan berkualitas tinggi memiliki Indeks Asam (IA) dan Indeks Total (IT) yang rendah, yang dapat digunakan sebagai indikator untuk menentukan kualitas minyak dalam makanan, seperti produk perikanan. Berdasarkan Fernandez et al. (2019), menjelaskan bahwa IA yang rendah biasanya memiliki rasio kurang dari 2, sedangkan IT yang rendah memiliki rasio kurang dari 1. Hasil penelitian yang diperoleh sesuai dengan hasil penelitian Trilaksana et al. (2023) yang memperoleh nilai IA dan IT dari tiga ukuran mata tuna yang berbeda, secara berurutan adalah 0,33; 0,12; 0,47 untuk IA, dan 0,20; 0,55; 0,20 untuk IT. Penelitian lain juga mengungkapkan bahwa kualitas minyak atsiri dapat dinilai melalui rasio asam lemak tak jenuh ganda (PUFA) n-3 hingga n-6 (Dinicolantonio dan O'keefe, 2018). IA terkait dengan interaksi antara lemak jenuh, yang dianggap sebagai zat pro-atrogenik, dan lemak tidak jenuh, yang dianggap sebagai zat anti-atrogenik. Zat pro-atrogenik dapat meningkatkan adhesi lipid dalam sistem kebalan tubuh, sedangkan zat anti-atrogenik bekerja untuk mengurangi aglomerasi lipid dalam makanan dengan cara menurunkan esterifikasi lemak, terutama dalam konteks penyakit jantung koroner. Selain itu, selama proses pembuatan darah, terjadi interaksi antara asam lemak jenuh yang memiliki sifat pro-trombogenik dengan asam lemak tak jenuh yang memiliki sifat anti-trombogenik (Ghaeni et al., 2013 Boscaino et al., 2014). Sebagai hasil dari indeks Trombogenik (IT) dan Aterogenik (IA) yang lebih akurat, kualitas minyak ikan tuna caudal keel pada penelitian ini cukup memuaskan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, kandungan lemak caudal keel tuna sekitar 3,32%, sedangkan kandungan logam berat masih dalam batas aman. ekstraksi *dry rendering* pada suhu 80°C selama 2 jam menghasilkan kualitas minyak ikan terbaik dengan karakteristik hasil 2,83%, asam lemak bebas 1,21%, dan anisidin 12,05 mEq/kg, yang telah memenuhi standar IFOS, kecuali untuk nilai peroksida dan total oksidasi. Asam lemak, DHA dan EPA sebagai asam lemak yang mendominasi profil asam lemak dari caudal keel tuna. Nilai IA dan IT tergolong rendah dengan rasio 0,51 dan 0,29 yang menandakan profil asam lemak minyak caudal keel tuna berkualitas baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Association Official Agriculture Chemists (AOAC). (2002). *Official Methods of Analysis of AOAC International (17th ed)*. (US): AOAC International.
- Association of Official Analytical Chemist (AOAC). (2005). *Official method of analysis of the association of official analytical of chemist*. USA: Published by The Association of Analytical Chemist, inc.
- Aditia, R.P., Darmanto, Y., Romadhon. (2014). Perbandingan mutu minyak ikan kasar yang diekstrak dari berbagai jenis ikan yang berbeda. *Jurnal Pengolahan Dan Bioteknologi Hasil Perikanan*, 3(3), 55–60. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jpbhp/article/view/5457>.
- Albert, B.B., Derraik, J.G.B, Cameron-Smith, D., Hofman, P.L, Tumanov, S., Villas-Boas, S.G., Garg, M.L., Cutfield, W.S. (2015). Fish oil supplements in New Zealand are highly oxidised and do not meet label content of n-3 PUFA. *Scientific Reports*, 5(1), 7928. <https://doi.org/10.1038/srep07928>.
- Ambrosewicz-Walacik, M., Tańska, M., Rotkiewicz, D. (2015). Polish journal of natural sciences effect of heat treatment of rapeseed and methods of oil extraction on the content of phosphorus and profile of phospholipids. *In Abbrev.: Pol. J. Natur, Sc* 30(2), 123-136.
- Apituley, D.A.N., Sormin, R.B.D., Nanlohy, E.M. (2020). Karakteristik dan profil asam lemak minyak ikan dari kepala dan tulang ikan tuna (*Thunnus albacares*). *Jurnal Teknologi Pertanian*, 9(1), 10–19. <https://doi.org/10.30598/jagritekno.2020.9.1.10>.
- Aprillia, A.C., Suseno, S.H., Ibrahim, B. (2023). Peningkatan volume pemurnian minyak ikan tuna (*Thunnus sp.*) dari hasil samping pengalengan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 26(1), 39–53. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v26i1.43786>.
- Badan pengawas obat dan makanan republik indonesia (BPOM). (2019), Persyaratan mutu suplemen Kesehatan. Jakarta (ID): Badan Pengawas Obat dan Kesehatan RI.
- Boscaino, F., Acierno, V., Saggese, P., Cozzolino, R., Motta, C.M., Sorrentino, A., Roma, V., Sperimentale, M., Università, S., Crecchio, V.L, Biologia, D., Federico, N., Mezzocannone, V., Roma, V. (2014). Effectiveness of vacuum devices for home storage of rainbow trouts from game fishing lakes . *African Journal of Science and research*, 3(2), 16–22.
- Chanmangkang, S., Wangtueai, S., Pansawat, N., Tepwong, P., Panya, A., Maneerote, J., (2022). Characteristics and Properties of Acid- and Pepsin-Solubilized Collagens from the Tail Tendon of Skipjack Tuna (*Katsuwonus pelamis*). *Polymers*, 14(23), <https://doi.org/10.3390/polym14235329>.
- Digoarachchi, D.A.S.U., Walpita, C.N., Sandamali, J.D. (2022). Determination of Geographical and Seasonal Variations of Heavy Metals in Swordfish (*Xiphias gladius*) and Yellowfin Tuna (*Thunnus albacares*).

- International Journal of Current Science Research and Review, 5(7), 2243-2250. <https://doi.org/10.47191/ijcsrr/V5-i7-03>.
- Djamaludin, H., Sulistiyati, T.D., Chamidah, A., Nurashikin, P., Roifah, M., Notonegoro, H., Ferdian, P.R. (2023). Quality and fatty acid profiles of fish oil from tuna by-products extracted using a dry-rendering method. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(11). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d241131>.
- Efendi, S.C., Anggo, A.D., Wijayanti, I. (2020). Pengaruh suhu ekstraksi pada metode dry rendering terhadap kualitas minyak kasar hati ikan manyung (*Arius thalassinus*). *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Perikanan*, 2(1), 64–69. <https://doi.org/10.14710/jitpi.2020.8090>.
- Eka, B., & Rochima, E. (2016). Pengaruh metode rendering terhadap karakteristik fisik, kimia dan organoleptik ekstrak kasar minyak ikan lele. *Jurnal Perikanan Kelautan*, 7 (1), 1-5.
- Estiasih, T. (2009). Teknologi dan Penerapannya untuk Pangan dan Kesehatan. (ID): Graha Ilmu.
- Farssi, M., Gharby, S, Mamouni, R., Harhar, H., Kartah, B., Laknifli, A. (2018). Moroccan Journal of Chemistry Effect of temperature on the quality of refined fish co-product oil during bleaching. *Moroccan Journal of Chemistry*, 6(4),615-622.
- Fernandez, J. (2019). Atherogenic index and thrombogenic index for prediction of cardiovascular risk: a review. *Medical Food*, 22(1), 9–19.
- Ghaeni, M., Ghahfarokhi, K.N., Zaheri, L. (2013). Fatty Acids Profile , Atherogenic (IA) and Thrombogenic (IT) Health Lipid Indices in *Leiognathus bindus* and *Upeneus sulphureus* Marine Science : Research & Development, 3(4), 3–5. <https://doi.org/10.4172/2155-9910.1000138>.
- Handayani, T., Maarif, M.S., Riani, E., Djazuli, N. (2019). Kandungan Logam Berat Merkuri pada Ikan Tuna (Yellowfin dan Bigeye) dan Tuna-Like (Swordfish) Hasil Tangkapan dari Samudera Hindia dan Samudera Pasifik. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*. 14(1):35. doi:10.15578/jpbkp.v14i1.572.
- International fish oil standard (IFOS). (2014). Fish oil purity standards. [diakses pada 15 Mei 2024]. Tersedia di: www.omegavia.com/best.
- Istiqlaal, S. (2018). Ekstraksi dan karakteristik minyak tulang ikan tuna (*Thunnus albacares*). *Jurnal Pascapanen Dan Bioteknologi Kelautan Dan Perikanan*, 13(2), 141. <https://doi.org/10.15578/jpbkp.v13i2.546>.
- Kazuo, M. (2019). Prevention of Fish Oil Oxidation. *Journal of Oleo Science*, 68(1), 1–11. <https://doi.org/10.5650/jos.ess18144>.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP). (2023). Produktivitas perikanan Indonesia. Jakarta (ID): Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia.
- Ketaren, S. (2012). Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan. (ID): UI Press.
- Kolita, B.K, Jinadasa, K., Wickramasinghe, I., Jinadasa, B.K., Jayasinghe, G.D.T.M., Edirisinghe, E.M.R.K.B., Wickramasinghe, I. (2015). Mercury Concentration of Muscle Tissue and Relationship with Size of (*Thunnus albacares*), of the Indian Ocean. *European Journal of Academic Essays*, 2(4), 35–40. www.euroessays.org.
- Lestari, R.R., Ibrahim, R., Riyadi, P.H. (2016). Different processing temperatures of simple steam jacketed method toward quality of crude fish oil from head waste of mackerel. *Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*, 11(2), 78. <https://doi.org/10.14710/ijfst.11.2.78-83>.
- Martins, M.J., Purnamayati, L., Romadhon, R. (2021). Pengaruh Suhu Wet Rendering yang Berbeda terhadap Karakteristik Ekstrak Kasar Minyak Ikan Lele (*Clarias sp.*). *Agritech*, 41(4), 335-343. <https://doi.org/10.22146/agritech.49875>.
- Megasanti, N.M., Pontoh, J., Koleangan, H.S.J. (2020). Pengayaan Asam Lemak Omega-3 Dari Minyak Ikan Tuna (*Thunnus Sp.*) Di Sulawesi Utara. *Chemistry Progress*, 13(2), 96-101. <https://doi.org/10.35799/Cp.13.2.2020.31458>.
- Nugroho, A.J., Ibrahim, R., Riyadi, P.H. (2014). Pengaruh perbedaan suhu pengukusan (steam jacket) terhadap kualitas minyak dari limbah usus ikan nila (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Pengolahan Dan Bioteknologi Hasil Perikanan*, 3(1), 21–29. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jpbhp/article/view/4818>.
- La Dia, W.O.N.A., Trilaksani, W., Ramadhan, W. (2022). Purifikasi Minyak Mata Tuna Kaya DHA (*Thunnus sp.*) dengan Variasi Adsorben. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 25(3), 428–440. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v25i3.42794>.
- Pandey, G., Raju, C.V., Pal, J. (2018). Effect of super chilling on the proximate composition of Indian Mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) stored in solar operated refrigerated fish vending unit. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(1), 303–306.
- Rahardjo, M.F. (2020). Serba-serbi ikan aneka ragam bentuk sirip ikan [Various fin of fish]. In *warta iktiologi*, 4(2), 1-9.
- Rahmawati, S.H., Wijayanti, A., Emilyasari, D. (2024). Karakterisasi dan identifikasi senyawa aktif pada minyak ikan tuna (*Thunnus albacares*). *Jurnal Perikanan Unram*, 14(1), 298–305. <https://doi.org/10.29303/jp.v14i1.772>.
- Šimat, V., Vlahović, J., Soldo, B., Skroza, D., Ljubenković, I., Generalić Mekinić, I. (2019). Production and refinement of omega-3 rich oils from processing by-products of farmed fish species. *Foods*, 8(4), 2-14. <https://doi.org/10.3390/foods8040125>.
- Suseno, S.H. (2015). proximate, fatty acid, amino acid and mineral composition of tuna (*Thunnus sp.*) by-product from west sumatra province. *Pakistan Journal of Nutrition*, 14(1), 62–66.
- Suseno, S.H, Mardiono, J.A., Abdulatip, D. (2019). Stability of Imported Commercial Fish Oils (Soft Gel) in East Java. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 22(3), 589–600. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v22i3.29229>.
- Sumandiarsa, I.K, Apriansyah, A.D., Sirait, J. (2023). Mutu dan proporsi bagian tubuh ikan tuna (*Thunnus*

- sp.) serta rendemen produk turunannya: studi kasus di PT. X, Benoa-Bali. Seminar Nasional Perikanan Indonesia ke-24. E-ISSN: 2964-8408. <http://dx.doi.org/10.15578/psnp.13977>.
- Suseno, S.H., Jacob, A.M., Yocinta, H.P., Kamini, K. (2018). Quality of Commercial Import Fish Oil (Softgel) in Central Java. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 21(3), 556. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v21i3.24743>.
- Suseno, S.H., Rizkon, A.K., Jacob, A.M., Kamini, L. D. (2021). Fish oil extraction as a by-product of Tilapia (*Oreochromis* sp.) fish processing with dry rendering method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 679(1), 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/679/1/012009>.
- Suseno, S.H., Rizkon, A.K., Jacob, A.M., Nurjanah, N., Supinah, P. (2020). Ekstraksi dry rendering dan karakterisasi minyak ikan patin (*Pangasius* sp.) hasil samping industri fillet di lampung. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 23(1), 38–46. <https://doi.org/10.17844/jphpi.2016.19.3.196>.
- Kamini., Suptijah, P., Santoso, J., Suseno, S.H. (2016). Ekstraksi dry rendering dan karakterisasi minyak ikan dari lemak jeroan hasil samping pengolahan salai patin siam (*Pangasius hypothalmus*). *Jurnal pengolahan hasil perikanan Indonesia*. 19(3): 196-205. <https://doi.org/10.17844/jphpi.2016.19.3.196>
- Trilaksani, W., Riyanto, B., Syifa, A.L. (2020). Extraction and microencapsulation of tuna virgin fish oil with mangrove fruit extract fortified into extrusion cereals. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 420 (1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/420/1/012032>.
- Winarno, F.G. (2008). *Kimia Pangan dan Gizi*. PT Gramedia Pustaka Utama.
- Yulianto, A., Suseno, S.H., Nugraha, R. (2022). Etil ester minyak ikan tuna sebagai bahan penyediaan suplemen omega-3 menggunakan perlakuan NaOH dan suhu. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 25(2), 294–306. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v25i2.40547>.
- Zhang, J., Tao, N., Zhao, Y., Wang, X., Wang, M. (2019). Comparison of the fatty acid and triglyceride profiles of big eye tuna (*Thunnus obesus*), atlantic salmon (*Salmo salar*) and bighead carp (*Aristichthys nobilis*) heads. *Molecules*. 24(21):3983. <https://doi.org/10.3390/molecules24213983>.
- Zhang JD, Sung HJ., Huang WX. 2020. Specialization of tuna: A numerical study on the function of caudal keels, *Phys. Fluids* 32. 111902. <https://doi.org/10.1063/5.0029340>.