



Heavy metal content in the eyes of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*, Bonnaterre 1788) from Aceh Waters as raw material for fish oil

Kandungan logam berat mata ikan tuna sirip kuning (*Thunnus albacares*, Bonnaterre 1788) asal Aceh sebagai bahan baku minyak ikan

Fahri Sinulingga^{1,*}, Wini Trilaksani², Jidan Ramadani³

¹Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia

²Departemen Teknologi Hasil Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB University, Jawa Barat, Indonesia

³Departemen Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan, Fakultas Peternakan, IPB University, Jawa Barat, Indonesia

Received 12 June 2025

Accepted 19 January 2026

Published 2 February 2026

ABSTRACT

Yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) is one of Indonesia's leading fishery commodities, with high potential as a raw material for fish oil, especially from the eye tissue, which is rich in omega-3 fatty acids. This study aimed to evaluate the heavy metal content in yellowfin tuna eyes from Aceh waters to ensure the safety of extracted fish oil. Eye samples were obtained as by-products from a tuna fillet processing industry in Banda Aceh. Preparations were carried out by separating soft tissues from hard parts, followed by oil extraction using the cold water extraction method. Characterization included morphometric analysis and determination of heavy metal contents (Hg, Pb, Cd, As) using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS), based on national (SNI) and international (Codex Alimentarius 2017) standards. Results showed that Hg, Pb, and Cd were not detected, while As was present at a concentration of <0.005 mg/kg—well below safety thresholds. These findings indicate that yellowfin tuna eye oil from Aceh is safe for consumption and holds promising potential as a high-value functional food or dietary supplement ingredient.

Keywords: Atomic absorption spectrophotometry, fish eyes, fish oil, heavy metals, yellowfin tuna

1. Pendahuluan

Tuna merupakan salah satu komoditas unggulan perikanan Indonesia, menempati peringkat kedua terbesar setelah udang, dengan nilai ekspor mencapai 1,2 juta ton per tahun (KKP 2022). Tuna sirip kuning (*Thunnus albacares*, Bonnaterre 1788) merupakan jenis tuna yang dominan dijumpai di perairan Aceh, yang termasuk dalam wilayah pengelolaan perikanan (WPP) 571 dan 572 dengan potensi sumber daya ikan (SDI) sebesar 423.410 ton per tahun. Selain tuna sirip kuning, jenis tuna lain yang juga bernilai ekonomis tinggi antara lain *skipjack*, *albacore*, *bigeye*, dan *bluefin* (Talib 2017). Potensi besar ini menjadikan tuna sebagai sumber bahan baku yang penting bagi industri perikanan dan pengolahan pangan nasional.

Tuna dalam praktiknya diolah menjadi produk bernilai tinggi seperti *fillet*, *loin*, *sashimi*, maupun produk kalengan. Namun, proses ini masih menyisakan limbah atau hasil samping seperti kepala, kulit, jeroan, sirip, dan tulang (Sayana & Sirajudheen, 2017). Salah satu bagian hasil samping yang memiliki potensi besar adalah mata ikan tuna, khususnya tuna sirip kuning, yang diketahui mengandung minyak ikan yang kaya akan asam lemak omega-3 seperti *eicosapentaenoic acid* (EPA) dan *docosahexaenoic acid* (DHA). Kandungan DHA dalam mata tuna bahkan dilaporkan mencapai 35% (Trilaksani *et al.* 2023), jauh lebih tinggi dibandingkan dengan sarden ($6,9 \pm 1,5\%$), ikan cod ($12,86 \pm 0,14\%$), dan salmon Atlantik ($17,1 \pm 0,47\%$) (Gamarro *et al.* 2013; Kolanowski 2010; Soltan dan

*Corresponding author
E-mail address: fsinulingga25@fp.unsri.ac.id



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License

Gibson 2008). Minyak ikan kaya DHA sering digunakan dalam fortifikasi pangan dan memiliki banyak manfaat potensial bagi kesehatan. Laporan penelitian menunjukkan bahwa DHA sangat penting untuk perkembangan otak, retina, serta kemampuan belajar dan daya ingat pada bayi dan anak-anak yang telah terbukti bermanfaat bagi kesehatan jantung, otak, serta sistem saraf (Jamshidi *et al.* 2020, Sittiprapaporn *et al.* 2022).

Tuna sirip kuning asal perairan Aceh memiliki potensi tinggi sebagai bahan baku minyak ikan karena kandungan omega-3 yang melimpah, khususnya pada bagian mata. Namun, aspek keamanan pangan perlu diperhatikan mengingat habitat tuna di laut lepas yang rentan tercemar logam berat seperti merkuri (Hg), timbal (Pb), kadmium (Cd), dan arsenik (As). Kontaminasi ini umumnya berasal dari limbah industri, aktivitas manusia, dan pencemaran lingkungan lainnya yang dapat terakumulasi dalam tubuh ikan dan berdampak buruk bagi kesehatan manusia (FDA, 2019; Paulus *et al.* 2020; Alipour & Banagar, 2018). Oleh karena itu, pengujian logam berat pada mata ikan tuna sirip kuning asal Aceh penting dilakukan untuk menjamin keamanan dan mutu bahan baku minyak ikan.

2. Metodologi

2.1. Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari hingga Maret 2025 di Laboratorium Preservasi dan Pengolahan Hasil Perairan Departemen Teknologi Hasil Perairan, Laboratorium Terpadu, dan Laboratorium Terpadu Sekolah Kedokteran Hewan dan Biomedis, IPB University.

2.2. Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan berupa mata tuna *Thunnus albacares* yang merupakan spesies tuna dari famili scombridae (Bonnaterre 1788) dan berasal dari hasil samping industri tuna di Banda Aceh, Aceh. Alat yang digunakan meliputi timbangan analitik, *vortex thermolyne*, *thermometer*, *mixer*, *blender* Philips HR 211, *sentrifuge* (Hitachi Model Part No. R12A6904357D0).

Kandungan logam berat (Hg, Pb, dan Cd)

pada mata ikan tuna sirip kuning (*Thunnus albacares*) dan air dianalisis menggunakan *atomic absorption spectrophotometry* (AAS) merek Shimadzu tipe AA-160. Menurut Rai *et al.* (2023), AAS bekerja berdasarkan penyerapan radiasi elektromagnetik pada panjang gelombang tertentu oleh atom bebas. Pb dan Cd dianalisis dengan menggunakan metode *flame atomic absorption*. Sementara itu, Hg menggunakan metode *cold vapor atomic absorption* (Tresanayaputri *et al.* 2021). Masing-masing panjang gelombang yang digunakan untuk mengukur kandungan logam berat, yakni 253,7 nm untuk Hg, 283,3 nm untuk Pb, dan 228,8 nm untuk Cd.

2.3. Preparasi dan Karakterisasi Mata Tuna (Murado *et al.* 2012)

Sampel mata tuna beku ditransportasikan dengan wadah sterofoam dengan tambahan *ice pack gel* pada suhu berkisar 0 °C, kemudian disimpan dalam *freezer* suhu -20 °C. Sebelum melakukan preparasi, sampel mata tuna beku sebanyak 2 kg (20-30 buah mata) di-*thawing* dalam lemari es selama 12 jam. Uji Organoleptik dilakukan pada mata ikan tuna segar berdasarkan spesifikasi kenampakan mata (SNI 2729;2013). Modifikasi metode dilakukan pada tahap pemisahan bagian mata tuna. Preparasi mata tuna dilakukan dengan cara memisahkan antara bagian keras (lensa dan sklera) dengan bagian lunak (otot mata, fase cair, lemak dan kulit). Hasil pemisahan bagian-bagian mata kemudian dilakukan perhitungan proporsi berdasarkan persentase bobot. Bagian yang dimanfaatkan untuk ekstraksi adalah bagian lunak otot mata.

2.4. Ekstraksi Minyak Mata Tuna (Trilaksani *et al.* 2020)

Metode ekstraksi yang digunakan adalah *cold water extraction*. Sampel berupa otot mata, fase cair dan lemak mata tuna yang telah tercampur menggunakan *blender* selama ± 3 menit dilumatkan hingga campuran berbentuk pasta. Pasta tuna disentrifugasi (11 200 g-force, 4°C) selama 30 menit. Pemisahan *virgin fish oil* dari pengotor dilakukan dengan pemipetan (± 15 menit). *Virgin fish oil* disimpan dalam botol kaca tertutup *aluminium foil* pada *freezer* suhu -20 °C. Pengujian

meliputi analisis logam berat Cd, Pb (SNI 2354:5:2016), logam berat Hg (SNI 2354:6:2016), logam berat As (SNI 2354:15:2017).

2.5. Analisis Logam Berat Cd, Pb (SNI 2354:5:2016)

Sampel sebanyak 5 g diabukan dengan tanur pada suhu 450 °C selama 4 jam. Kandungan logam yang terdapat dalam abu dilarutkan dengan HCL 6 M dan HNO₃ 0.1 M. Larutan yang dihasilkan dilakukan diatomisasi menggunakan *graphite furnace*. Atom-atom unsur Pb dan Cd berinteraksi dengan sinar dari lampu Pb dan Cd. Interaksi yang berupa serapan sinar besar nilainya dapat dilihat pada tampilan (monitor) *Atomic Absorption Spectrofotometer* (AAS). Jumlah serapan menunjukkan besarnya konsentrasi logam Pb dan Cd. Rumus perhitungan kadar logam berat Pb dan Cd sebagai berikut:

$$\text{Kadar logam Cd, Pb (mg/kg)} = \frac{(\text{konsentrasi logam kurva rendah } (\frac{\mu\text{g}}{\text{mL}}) \times v \text{ pelarut})}{\text{bobot sampel}}$$

2.6. Analisis Logam Berat Hg (SNI 2354:6:2016)

Sampel sebanyak 5 g dilakukan destruksi melalui refluks menggunakan H₂SO₄ pekat dengan bantuan pemanas listrik atau *microwave* menggunakan HNO₃ unsur merkuri bermuatan positif (Hg⁺ atau Hg⁺⁺). Penetapan jumlah merkuri dilakukan dengan spektrofotometer serapan atom nyala (*flameless AAS*), kemudian ion merkuri ini direduksi dengan natrium borohidrid menjadi Hg netral dalam bentuk kabut uap merkuri. Kabut uap merkuri didorong oleh gas mulia argon menuju sel penyerapan pada AAS dan berinteraksi dengan sinar yang berasal dari lampu katoda merkuri *Hallow Cathode Lamp* (HDL) atau *Electric Discharge Lamp* (EDL). Interaksi tersebut menghasilkan serapan yang besarnya dapat dilihat dari layar monitor AAS. Jumlah serapan sinar sebanding dengan kadar merkuri. Rumus perhitungan logam berat As sebagai berikut:

$$\text{Kadar logam Hg (mg/kg)} = \frac{(\text{konsentrasi logam kurva rendah } (\frac{\mu\text{g}}{\text{mL}}) \times v \text{ pelarut})}{\text{bobot sampel}}$$

2.7. Analisis Logam Berat As (SNI 2354:15:2017)

Penentuan kandungan logam As terdiri dari 3 tahap, yaitu destruksi, reduksi, dan pembacaan kandungan. Tahapan destruksi diawali dengan penimbangan sampel sebanyak 2 g ke dalam tabung (*vessel*), kemudian untuk kontrol positif (*spike*) ditambahkan larutan standar As yang konsentrasi dan volumenya telah dihitung ke dalam contoh, lalu dihomogenkan dengan *vortex* dan didiamkan selama 30 menit. Sebanyak 8 mL HNO₃ 65 % ditambahkan ke dalam sampel, kemudian *vessel* ditutup dan didiamkan pada suhu ruang selama 3 jam (tahapan predigesti). Sebanyak 2 mL H₂O₂ pekat dimasukkan ke dalam *vessel* dan ditutup rapat. Proses digesti dilakukan dengan menggunakan *microwave*, kemudian didinginkan. Sebanyak 1 mL hasil digesti dipipet ke dalam cawan porselen, kemudian ditambahkan 1 mL Mg(NO₃)₂ 7,5 % dan dikeringkan di atas *hotplate*. Cawan ditutup dan dimasukkan ke dalam tanur dengan suhu 450 °C selama 30 menit. Abu hasil tanur dilarutkan dengan penambahan 2 mL HCL 8 M ke dalam labu takar 10 mL, lalu diencerkan dengan air deionisasi hingga tanda batas.

Tahapan reduksi diawali dengan pemipetan sebanyak 5 mL larutan contoh ke dalam labu takar 25 mL. Pereaksi blanko disiapkan dengan memipet 2 mL HNO₃ 2,87 mol/L ke dalam labu takar 25 mL. Sederet larutan standar dengan konsentrasi (0,5; 1,0; 2,5; 5,0; dan 10,0) µg/L disiapkan dengan memipet 2 mL larutan standar arsen masing-masing ke dalam labu takar 25 mL yang berbeda. Sebanyak 2 mL HCL pekat ditambahkan ke dalam labu takar, kemudian diaduk perlahan. Selanjutnya ditambahkan 2 mL larutan KI-asam askorbat (campuran 5 % KI dan 5 % asam askorbat) ke dalam masing-masing labu takar. Labu takar dibiarkan terbuka selama 45 menit pada suhu ruang untuk mereduksi As⁵⁺ secara sempurna menjadi As³⁺. Air deionisasi ditambahkan ke dalam labu takar, lalu volumenya ditepatkan hingga tanda batas. Analisis segera dilakukan dengan instrumen HG-AAS. Pembacaan logam arsen pada AAS diawali dengan penempatan larutan NaBH₄ pada tabung

Hydride Generator (HG-1) dan larutan HCl 3 M pada tabung HG-2. Perangkat *Hydride Generator* dan AAS dikondisikan sesuai petunjuk peralatan. Larutan standar kerja, contoh, dan *spike* contoh dibaca pada instrumen HG-AAS pada panjang gelombang 193,7 nm. Konsentrasi contoh ditentukan berdasarkan kurva kalibrasi. Perhitungan kadar arsen total adalah sebagai berikut:

$$\text{Kadar arsen total (mg/kg)} = \frac{D-E \times fp \times V \text{ (mL)} \times \frac{1\text{L}}{1000\text{ mL}}}{W}$$

Keterangan:

D = Konsentrasi contoh $\mu\text{g/L}$ dari hasil pembacaan AAS

E = Konsentrasi blanko contoh $\mu\text{g/L}$ dari hasil pembacaan AAS

V = Volume akhir larutan contoh yang disiapkan (mL)

fp = Faktor pengenceran

W = Berat contoh (g)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Penanganan Ikan Tuna Sirip Kuning di Industri Pengolahan Fillet Ikan Beku

Proses penanganan awal ikan tuna sirip kuning di industri pengolahan dapat dilihat secara visual pada Gambar 1. Diagram alir tersebut mengilustrasikan tahapan berurutan yang dimulai dari penerimaan bahan baku yang diperoleh dari pengepul dan diakhiri dengan pembersihan ikan dari bagian yang tidak diinginkan sehingga dihasilkan sampel mata ikan tuna.

3.2. Bentuk Visual dan Proporsi Mata Tuna Sirip Kuning

Kategori mata tuna (Gambar 1) yang digunakan ukuran sedang dengan diameter 5-9 cm (Trilaksani *et al.* 2023). Morfometrik menunjukkan panjang dan diameter rata-rata yang dimiliki masing-masing $5,5 \pm 0,34$ cm dan $5,58 \pm 0,19$ cm. Bobot rata-rata mata tuna $88,72 \pm 4,22$ g sedangkan bobot ototnya $27,17 \pm 1,98$ g. Bobot vitreous humor $23,97 \pm 3,96$ g, bobot rata-rata sklera $5,39 \pm 0,96$ g dan bobot lensanya $2,89 \pm 0,21$ g. Pengamatan kenampakan mata tuna menunjukkan nilai

rata-rata 7,4, dengan karakteristik bentuk cekung, kornea agak keruh, serta pupil berwarna keabu-abuan dan sedikit mengkilap sesuai dengan spesifikasi mutu ikan segar berdasarkan SNI ikan segar (BSN 2013). Hasil ini mengindikasikan bahwa mata tuna yang digunakan masih berada dalam kondisi segar. Penentuan proporsi setiap bagian mata tuna penting dilakukan untuk mengetahui bagian yang memiliki kontribusi massa terbesar, sehingga apabila ditemukan kandungan logam berat yang melebihi ambang batas, akumulasi logam tersebut dapat ditelusuri secara lebih spesifik pada bagian mata tuna tertentu. Visualisasi kenampakan pada mata tuna dapat dilihat pada Gambar 2.

3.3. Kandungan Logam Berat Mata Tuna Sirip Kuning

Analisis logam berat pada mata tuna penting dilakukan karena erat kaitannya dengan keamanan pangan. Kandungan logam berat Cd, Pb dan Hg pada VFO mata tuna tidak terdeteksi namun logam berat arsen (As) terdeteksi $<0,005$ mg/kg. Hasil tersebut menunjukkan bahwa keseluruhan logam berat telah sesuai dengan standar minyak ikan oleh *Codex Alimentarius Commission* (CAC) 2017 tentang *fish oil standards/testing limits* sehingga dari segi logam berat VFO aman untuk dikonsumsi. Kandungan logam berat pada biota perairan erat kaitannya dengan lingkungannya. Perairan yang tercemar logam berat diduga biota yang hidup di lingkungan tersebut juga ikut tercemar akibat akumulasi dari siklus rantai makanan (Rai *et al.* 2023). Semakin besar ukuran atau umur suatu organisme perairan kemungkinan akumulasi logam berat semakin besar pula pada tubuh organisme tersebut. Sembiring (2009) menyatakan logam berat terdistribusi dan terakumulasi dalam tubuh manusia melalui perantara makanan, apabila terus berkelanjutan dalam jangka waktu yang lama dapat membahayakan kesehatan. Hasil analisis logam berat dapat dilihat pada Tabel 2.



Raw materials sourced from collectors
 Bahan baku dari pengepul



Weighing
 Penimbangan



Preparation process
 Proses preparasi



Evisceration process
 Proses penyiangan



Weighing of head samples
 Penimbangan sampel kepala



Tuna eye samples
 Sampel mata Tuna

Figure 1. Process flow of yellowfin tuna handling in industrial processing.
 Gambar 1. Alur proses penanganan tuna sirip kuning di industri pengolahan.

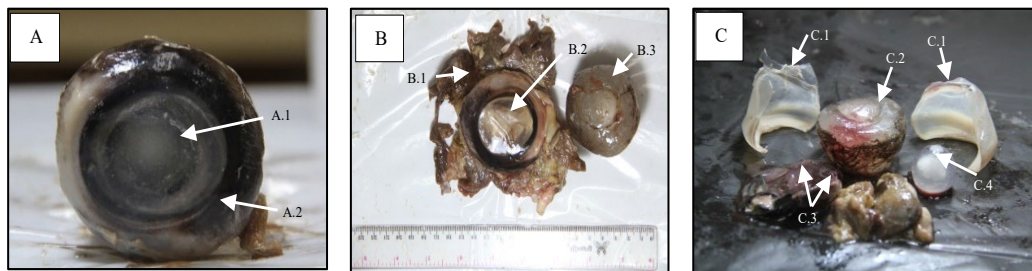


Figure 2. Visual representation of the yellowfin tuna eye. (A) Intact tuna eye appearance: A.1 pupil, A.2 iris; (B) Tuna eye after preparation: B.1 muscle tissue, B.2 cornea, B.3 vitreous humor; (C) Anatomical components of the tuna eye: C.1 sclera, C.2 vitreous humor, C.3 muscle tissue, C.4 lens.

Gambar 2. Visualisasi kenampakan mata tuna. (A) Kenampakan mata tuna utuh: A.1 pupil, A. 2 iris; (B) Kenampakan mata tuna setelah preparasi; B. 1 otot daging, B.2 kornea, B.3 vitreous humor; (C) Bagian-bagian mata tuna: C.1 sklera, C.2 vitreous humor, C.3 otot daging, C.4 lensa.

Table 1. Morphometric characteristics and proportional composition of the samples.

Tabel 1. Morfometrik dan proporsi sampel.

Samples/Sampel	Size/Ukuran
Whole tuna fish/Ikan tuna utuh (kg)	55,50±7,20
Tuna head/Kepala ikan tuna (kg)	7,10±0,57
Tuna eyes/Mata ikan tuna (g)	98,11±30,79
Tuna eyes length/Panjang mata ikan tuna (cm)	5,79±0,58
Tuna eyes diameter/Diameter mata ikan tuna (cm)	5,95±0,51
Tuna eyes muscle/Otot daging mata ikan tuna (g)	37,84±26,40
Vitreous humor of the tuna eyes/Vitreous humour mata ikan tuna (g)	30,49±10,91
Sclera of the tuna eyes/Sklera mata ikan tuna (g)	5,95±1,61
Lens of the tuna eyes/Lensa mata ikan tuna (g)	2,94±0,82

Table 2. Heavy metal concentrations in tuna eye.

Tabel 2. Kandungan logam berat mata tuna.

Heavy metal/Logam berat	Tuna eye/Mata tuna	CAC 2017*
Arsenic/Arsen (As) (mg/kg)	Not detected/Tidak terdeteksi	0,1
Cadmium/Kadmium (Cd) (mg/kg)	Not detected/Tidak terdeteksi	0,1
Mercury/Merkuri (Hg) (mg/kg)	Not detected/Tidak terdeteksi	0,1
Lead/Timbal (Pb) (mg/kg)	<0,005	0,1

*codex alimentarius commission (CAC) is standard for fish oils

3.4. Visualisasi dan Kandungan Logam Berat

Minyak Ikan Mata Tuna Sirip Kuning

Ekstraksi melalui sentrifugasi dingin dengan kecepatan 10.000 rpm, suhu -4 °C, dan waktu 30 menit berhasil memisahkan minyak ikan dengan komponen daging lainnya. Cairan dan daging mata menghasilkan empat lapisan setelah disentrifus sesuai dengan penelitian Ramakrishnan *et al.* (2013). Lapisan pertama adalah minyak, diikuti lapisan lipid-protein berbobot molekul rendah (*light lipid-protein*), hidrolisat protein cair (*aqueous protein hydrolysate*), dan endapan lipid-protein berbobot molekul besar (*sludge and heavy lipid protein*). Lapisan tersebut terpisah karena perbedaan bobot jenis setiap komponen. Minyak yang memiliki bobot jenis yang paling rendah akan terpisah ke bagian atas. Visualisasi bentuk pemisahan dapat dilihat pada Gambar 3.

Setelah mendapatkan minyak ikan lalu dilanjutkan dengan menguji kembali logam berat untuk memastikan sampel aman dari cemaran. Kandungan logam berat minyak ikan mata tuna mendapatkan hasil bahwa keseluruhan logam berat tidak terdeteksi sehingga aman untuk dikonsumsi.

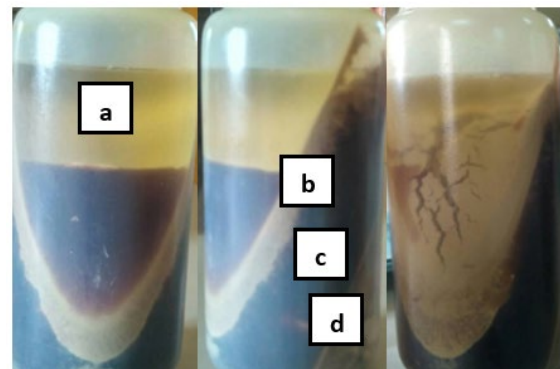


Figure 3. Visual representation of the phase separation obtained from the extraction process: (a) fish oil; (b) light lipid-protein fraction; (c) liquid protein hydrolysate; (d) heavy lipid-protein fraction

Gambar 3. Visualisasi bentuk pemisahan hasil ekstraksi: (a) minyak ikan; (b) *light lipid-protein*; (c) hidrolisat protein cair; (d) *heavy lipid-protein*.

Konsumsi ikan besar (hiu, *swordfish* dan jangilus) tidak direkomendasikan untuk dikonsumsi selama masa kehamilan karena dapat berakibat buruk pada janin yang memiliki akumulasi logam berat terutama merkuri sebesar 0,3 mg/kg sedangkan untuk ikan tuna masih dikategorikan aman dikonsumsi ibu hamil (SCAN 2004). Keberadaan logam berat arsen (As) dipengaruhi oleh kondisi wilayah tangkap, dan perilaku migrasi ikan tuna yang memungkinkan logam berat terakumulasi dari substrat yang dikonsumsi (Digoarachchi *et al.* 2022). Semakin tinggi tingkatan trofiknya serta semakin besar ukuran mata dan bobot ikan, semakin banyak logam berat yang terakumulasi (Arain *et al.* 2008).

Table 3. Heavy metal concentrations in yellowfin tuna eye fish oil.

Tabel 3. Kandungan logam berat minyak ikan mata tuna.

Heavy metal/ Logam berat	Fish oil/ Minyak ikan	CAC (2017)*
Arsenic/Arsen (As) (mg/kg)	Not detected/ Tidak terdeteksi	0,1
Cadmium/Kadmium (Cd) (mg/kg)	Not detected/ Tidak terdeteksi	0,1
Mercury/Merkuri (Hg) (mg/kg)	Not detected/ Tidak terdeteksi	0,1
Lead/Timbal (Pb) (mg/kg)	Not detected/ Tidak terdeteksi	0,1

*codex alimentarius commission (CAC) is standard for fish oils

4. Kesimpulan

Bahan baku mata tuna sirip kuning asal perairan Aceh tidak mengandung logam berat yang mengawatirkan berdasarkan ambang batas yang ditetapkan oleh standar minyak ikan *codex alimantarius commission* yaitu tidak melebihi 0,1 mg/kg bobot tuna sehingga aman untuk dijadikan sebagai bahan baku minyak ikan yang dapat dikonsumsi.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dapat diselesaikan atas bantuan dari Laboratorium Preservasi Pengolahan Hasil Perairan Departemen Teknologi Hasil Perairan Fakultas Perikanan

dan Ilmu Kelautan IPB University serta Laboratorium Terpadu Sekolah Kedokteran Hewan dan Biomedis, IPB University. Oleh karena itu, ucapan terima kasih disampaikan kesemua pihak terlibat sehingga tulisan ini dapat dipublikasikan..

Daftar Pustaka

- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2013. *SNI 2729-2013 tentang Ikan Segar*. Jakarta (ID): Badan Standardisasi Nasional.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2016. *SNI 2354:5:2016 tentang Penentuan Kadar Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) Total pada Produk Perikanan*. Jakarta (ID): Badan Standardisasi Nasional.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2016. *SNI 2354:6:2016 tentang Penentuan Kadar Merkuri (Hg) Total pada Produk Perikanan*. Jakarta (ID): Badan Standardisasi Nasional.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2016. *SNI 2354-12:2017 tentang Penentuan Kadar Arsen (As) Total pada Produk Perikanan*. Jakarta (ID): Badan Standardisasi Nasional.
- [CAC] Codex Alimentarius Commission. 2017. *Standard for Fish Oils CODEX STAN 329-2017*. CAC (ITA): Roma.
- [EPA] Environmental Protection. 2000. *Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use*
- [FDA] Food and Drug Administration. 2019. *Fish and Fishery Products Hazards and Controls Guidance. Fish Fish. Prod. Hazard Control Guid. Fourth Ed.*(April 2011):1–401.doi:10.1039/9781847558398-00136.
- [KKP] Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2022. *Laporan Kinerja Kementerian Kelautan dan Perikanan*. Jakarta: Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- [SCAN] Scientific Advisory Committee For Nutrition. 2004. *Advice on Fish Consumption: Benefits and Risks*. London (UK): Food Standarts Agency and the Department of Health.

- Arain MB, Kazi TG, Jamali MK, Jalbani N, Afridi HI, Shah A. 2008. Total dissolved and bioavailable elements in water and sediment samples and their accumulation in *Oreochromis mossambicus* of polluted manchar lake. *Chemosphere*. 70(10): 1845-1856.
- Alipour H, Banagar GR. 2018. Health risk assessment of selected heavy metals in some edible fishes from Gorgan Bay, Iran. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*. 17(1): 21-34.
- Bonnaterre PJ. 1788. *Tableau encyclopédique et méthodique des trois règnes de la nature. Ichthyologie*. Panckoucke.
- Digoarachchi DASU, Walpita CN, Sandamali JD. 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(07): 2243-2250. <https://doi.org/10.47191/ijcsrr/V5-i7-03>.
- Gamarro EG, Orawattanamatekul W, Sentina J, Gopal TKS. 2013. *By-Product of Tuna Processing*. FAO Globefish.
- Jamshidi A, Cao H, Xiao J, Simal-Gandara J. 2020. Advantages of techniques to fortify food products with the benefits of fish oil. *Food Res. Int*. 137(January):109353.
- Kolanowski W. 2010. Omega-3 long chain PUFA contents and oxidative stability of encapsulated fish oil dietary supplements. *International Journal Food Properties*. 13: 498-511.
- Mohanty BP, Ganguly S, Mahanty A, Sankar TV, Anandan R, Chakraborty K, Sridhar N. 2016. DHA and EPA content and fatty acid profile of 39 food fishes from India. *BioMed research international*. 16(1): 4027437.
- Murado MA, Montemayor MI, Cabo ML, Vazquez JA, Gonzalez MP. 2012. Optimization of extraction and purification process of hyaluronic acid from fish eyeball. *Food and Bioproducts Processing*. 90(3): 491-498.
- Paulus JJH, Rumampuk NDC, Pelle WE, Kawung NJ, Kemer K, Rompas RM. 2020. *Buku Ajar Pencemaran Laut*. Yogyakarta: Deepublish.
- Rai SK, Xalxo R, Patle TK, Verma A, Chauhan R, Mahish PK. 2023. Analyzing contamination of heavy metals-AAS and fluorescence spectroscopy. In *Heavy metals in the environment: management strategies for global pollution* (pp. 167-204). American Chemical Society.
- Ramakrishnan VV, Ghaly AE, Brooks MS, Budge SM. 2013. Extraction of proteins from mackerel fish processing waste using alcalase enzyme. *J Bioprocess Biotech*. 3(2): 1000130.
- Sayana KS, Sirajudheen TK. 2017. By-products tuna processing wastes-an economic approach to coastal waste management, *COBIA 2017: International Seminar on Coastal Biodiversity Assessment*, Kerala State, India. 5-7 January. Hlm. 411-420.
- Sembiring R. 2009. Analisis kandungan logam berat Cd, Hg dan Pb pada daging kijing lokal (*Pilsbryoconcha exilis*) dari perairan Situ Gede, Bogor [Skripsi] Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Sittiprapaporn P, Bumrungrert A, Suyajai P, Stough C. 2022. Effectiveness of Fish Oil-DHA Supplementation for Cognitive Function in Thai Children: A Randomized, Doubled-Blind, Two-Dose, Placebo-Controlled Clinical Trial. *Foods*. 11(17):1–14.
- Soltan SSAM dan Gibson RA. 2008. Levels of omega-3 fatty acids in Australian seafood. *Asia Pasific Clinical Nutrition*. 17(3): 385-390.
- Talib A. 2017. Tuna dan cakalang (suatu tinjauan: pengelolaan potensi sumberdaya di perairan Indonesia). Ternate (ID). *JIAP*. 10(1): 38-50.
- Tresanayaputri CIAA, Batu DTL, Sulistiono S. 2021. Heavy metals content (Hg, Cd, Pb, and Cu) in streaked spinefoot *Siganus javus* (Linnaeus, 1766) in Bojonegara Waters,

Banten Bay, Indonesia. *In E3S Web of Conferences* (Vol. 322, p. 01005). EDP Sciences.

Trilaksani W, Riyanto B, Azzahra F, Santoso J, Tarman K. 2020. Recovery of tuna virgin fish oil and formulation as a product model of emulsion food supplement. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1-8.

Trilaksani W, Riyanto B, Ramadhan W, Sinulingga F & Fauziah S. 2023. The Characteristics of Pufas-Rich Virgin Fish Oil As Affected By Size Of Tuna Eye. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(12): 6545-6556. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d241216>.