

Analisis Kandungan Logam Cadmium (Cd) Dan Timbal (Pb) Pada Ikan Kembung (*Rastrelliger kanagurta*) Yang Ditangkap Di Perairan Balikpapan

Marsanda^{1*}, Nurfadilah², Irwan Ramadhan Ritonga²

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Mulawarman
Jl. Gunung Tabur No 1, Kampus Gunung Kelua Samarinda, Kalimantan Timur, 75119 Indonesia

²Laboratory of Oceanography and Engineering, Integrated Laboratory, Universitas Mulawarman
Jl. Long Apari, Kampus Gunung Kelua Samarinda, Kalimantan Timur, 75119 Indonesia
Email: nurfadilah@fpik.unmul.ac.id

Abstrak

Ikan kembung lelaki (*Rastrelliger kanagurta*) adalah salah satu komoditas perikanan yang banyak dikonsumsi di Kalimantan Timur karena kandungan gizinya yang tinggi, namun sering kali ikan yang dikonsumsi mengandung logam berat. Kota Balikpapan memiliki kondisi aktivitas antropogenik/industri yang cukup tinggi yang dapat mempengaruhi konsentrasi logam berat. Penelitian ini dilakukan di daerah penangkapan nelayan biasa disebut rumpon yang berada di Perairan Balikpapan (1°30'42.49"S; 116°59'2.74"E), Kalimantan Timur dan penelitian ini dilaksanakan pada Desember 2024 hingga April 2025. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsentrasi logam Pb dan Cd pada organ ikan kembung (daging, insang, dan organ dalam) berdasarkan ukuran ikan (kecil, sedang, besar), serta mengevaluasi potensi risiko kesehatannya terhadap manusia. Analisis logam menggunakan alat *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) dengan menggunakan berat basah sampel, sedangkan penilaian risiko dilakukan melalui estimasi asupan harian (EAH), *Target Hazard Quotient* (THQ), dan Risiko Kanker (RK). Hasil menunjukkan bahwa konsentrasi rata-rata Pb sebesar 0,239 mg/kg dan Cd sebesar 0,032 mg/kg pada organ dalam pada ikan. Konsentrasi Pb tertinggi ditemukan pada organ dalam namun masih berada di bawah ambang batas nasional dan internasional (0,3 mg/kg), sementara konsentrasi Cd pada organ dalam ikan besar melebihi ambang batas yang ditetapkan Komisi Eropa (0,05 mg/kg). Nilai THQ < 1 menunjukkan bahwa konsumsi daging ikan tidak menimbulkan risiko non-karsinogenik yang signifikan, dan nilai RK untuk logam Cd tetap berada pada kategori risiko rendah (< 1×10⁻⁴) untuk semua kelompok usia. Temuan ini menekankan pentingnya pemantauan rutin terhadap cemaran logam berat pada sumber pangan laut di wilayah pesisir yang terdampak aktivitas industri.

Kata kunci : *Rastrelliger kanagurta*, kadmium, timbal, risiko kesehatan, Balikpapan.

Abstract

Analysis Of Cadmium (Cd) And Lead (Pb) Heavy Metal Content In Mackerel (Rastrelliger kanagurta) Caught In Balikpapan Waters

Male mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) is a fishery commodity widely consumed in East Kalimantan due to its high nutritional content. However, increased anthropogenic activities in coastal areas have the potential to cause heavy metal pollution, especially Pb and Cd. This study aims to analyze the concentration of Pb and Cd metals in mackerel organs (meat, gills, and internal organs) based on fish size (small, medium, large), and evaluate their potential health risks to humans. Metal analysis used *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS), while risk assessment was carried out through estimated daily intake (EAH), *Target Hazard Quotient* (THQ), and *Cancer Risk* (RK). The results showed that the average concentration of Pb was 0.239 mg/kg and Cd was 0.032 mg/kg. The highest Pb concentration was found in internal organs but was still below the national and international threshold (0.3 mg/kg), while the Cd concentration in internal organs of large fish exceeded the threshold set by the European Commission (0.05 mg/kg). A THQ value < 1 indicates that fish consumption does not pose a significant non-carcinogenic risk, and the RK value for Cd remains in the low-risk category (< 1×10⁻⁴) for all age groups. These findings emphasize the importance of routine monitoring of heavy metal contamination in seafood sources in coastal areas affected by industrial activities.

Keywords: *Rastrelliger kanagurta*, cadmium, lead, health risk assessment, Balikpapan.

PENDAHULUAN

Perairan Balikpapan di Kalimantan Timur merupakan kawasan penting secara ekologis dan ekonomis, serta menjadi lokasi utama penangkapan ikan kembung (*Rastrelliger kanagurta*), salah satu komoditas perikanan yang banyak dikonsumsi karena kandungan gizinya yang tinggi. Besarnya nilai konsumsi ikan kembung di Kalimantan timur, menyebabkan nilai gizi dan kondisi ikan perlu diperhatikan. Adapun manfaat yang diperoleh dari ikan kembung Lelaki (*Rastrelliger kanagurta*) adalah protein berkisar 17,13% dan lemak sebesar 0,37% (Damayati *et al.*, 2017). Begitu banyak manfaat dari ikan kembung, salah satunya sebagai makanan tambahan untuk ibu hamil yang bermanfaat untuk mencegah anemia karena dalam setiap 100 gr ikan kembung mengandung protein 21.3 gr, lemak 3.4 gr, karbohidrat 2.2 gr, kalsium 136 gr, serta omega 3 dan dan omega 6 (Nugroho *et al.*, 2022). Menurut Balikpapan, (2022) konsumsi ikan di Kota Balikpapan sebesar 55,2%.

Peningkatan aktivitas antropogenik di wilayah pesisir berpotensi menyebabkan pencemaran logam berat, terutama timbal dan kadmium. Masuknya logam berat ikan ke dalam tubuh organisme terjadi melalui tiga cara yaitu melalui makanan, insang, dan difusi melalui permukaan kulit (Sahetapy, 2011). Menurut Ardan *et al.*, (2022); Jamaluddin, (2025) kota Balikpapan mengalami banyak kegiatan antropogenik, ekspansi pemukiman dan industri yang dalam mempengaruhi kualitas perairan salah satunya logam berat. Logam berat yang ada di perairan berasal dari alam (debu gunung berapi, erosi bebatuan, dan lain-lain) dan berasal dari aktivitas manusia (limbah domestik dan industri) (Maddusa *et al.*, 2017). Logam berat memiliki kecenderungan untuk menumpuk di lingkungan, keberadaan logam yang terakumulasi di air laut akan terserap ke dalam organisme dan dapat menyebabkan efek toksik bagi organisme seperti ikan, serta manusia yang mengkonsumsi hewan laut yang telah terkontaminasi logam Pb dan Cd (Sembel & Lingkungan, 2015). Masuknya logam berat ke tubuh ikan dapat melalui insang (pernapasan), saluran pencernaan (makanan/air yang tertelan), dan kulit (penetrasi) (Sumah Yulaipi & Aunurohim, 2023). Adapun efek terhadap tubuh manusia seperti dapat mengakibatkan gangguan sistem saraf, kerusakan organ dalam, hingga risiko kanker dan paparan dalam jangka panjang dapat mengakibatkan rusaknya genetik serta gangguan perkembangan anak-anak (Ray & Vashishth, 2024).

Tingginya konsumsi ikan kembung (>55%) sehingga perlu adanya kajian risiko kesehatan manusia akibat konsumsi ikan kembung (*Rastrelliger kanagurta*) yang terkontaminasi logam berat seperti timbal (Pb) dan kadmium (Cd) bertujuan untuk mengkaji potensi dampak toksik terhadap kesehatan. Logam-logam tersebut dapat terakumulasi dalam tubuh manusia melalui rantai makanan dan menimbulkan dampak buruk, baik jangka pendek (nonkarsinogenik) maupun jangka panjang (karsinogenik). Penilaian risiko ini secara umum dilakukan melalui pendekatan kuantitatif, yaitu dengan menghitung Estimasi Asupan Harian (EAH), *Target Hazard Quotient* (THQ), dan Risiko Kanker (RK) yang selanjutnya dibandingkan dengan nilai ambang batas yang ditetapkan oleh lembaga internasional meliputi *Reference Dose* (RfD), *Provisional Tolerable Daily Intake* (PTWI).

Penelitian logam berat di Balikpapan telah dilakukan pada Lamun dimana didapatkan *Enhalus acoroides* sebesar Pb 5.1616 mg/L dan Cd sebesar 8.1622 mg/L (Juniar *et al.*, 2022). Informasi mengenai kandungan logam Pb dan Cd pada ikan kembung (*Rastrelliger kanagurta*) yang ditangkap di perairan Balikpapan belum dilakukan. Beberapa penelitian tentang kandungan logam berat Pb dan Cd pada perairan Balikpapan telah dilakukan oleh (Sitorus *et al.*, 2020) bahwa kadar logam berat yang ada di perairan Balikpapan menunjukkan nilai Pb sebesar 0,064 mg/L – 00,142 mg/L dan nilai Cd sebesar 0,088 mg/L – 0,112 mg/L. Hal tersebut mengindikasikan bahwa kandungan logam Pb dan Cd di perairan Balikpapan termasuk tinggi dan menunjukkan adanya risiko pencemaran yang signifikan bagi kesehatan biota yang hidup di perairan tersebut, berdasarkan standar baku mutu kandungan logam berat pada kolom air dari Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Laut pada biota laut hanya berkisar 0,008 mg/l (Pb) dan 0,001 mg/l (Cd). Menurut Dewi & Samson, (2022) kandungan logam berat di Perairan Manggar Balikpapan cukup tinggi didapatkan dalam air yaitu Pb 0.276 mg/l dan Cd 0.020 mg/l dalam air, pada sedimen Pb 24.7 mg/kg Cd 4.52 mg/kg dan biota air Pb 4.20 mg/kg Cd 0.80 mg/kg. Pada studi sebelumnya kandungan logam berat di perairan Balikpapan hanya berfokus pada media air namun belum pada jaringan biota dan risiko konsumsi manusia. Oleh sebab itu, penelitian tentang kandungan logam Pb dan Cd pada ikan kembung yang ditangkap di perairan Balikpapan

perlu dilakukan. Beberapa tujuan dari penelitian ini yaitu; 1. Mengetahui konsentrasi logam kadmium (Cd) dan timbal (Pb) yang terdapat dalam insang, daging, dan organ dalam ikan kembung Lelaki (*Rastrelliger kanagurta*) dan membandingkan hasil dengan baku mutu yang telah ditetapkan oleh SNI 7387 tahun 2009 dan BPOM NO. 9 Tahun 2022 (Tentang batas maksimum cemaran logam berat bahan pangan) untuk konsumsi masyarakat di Kalimantan Timur yang terdapat dalam daging, insang, dan organ dalam pada ikan kembung Lelaki (*Rastrelliger kanagurta*); 2. Mengkaji dan menganalisis potensi risiko kesehatan dari konsumsi daging ikan kembung Lelaki yang ditangkap di Perairan Balikpapan.

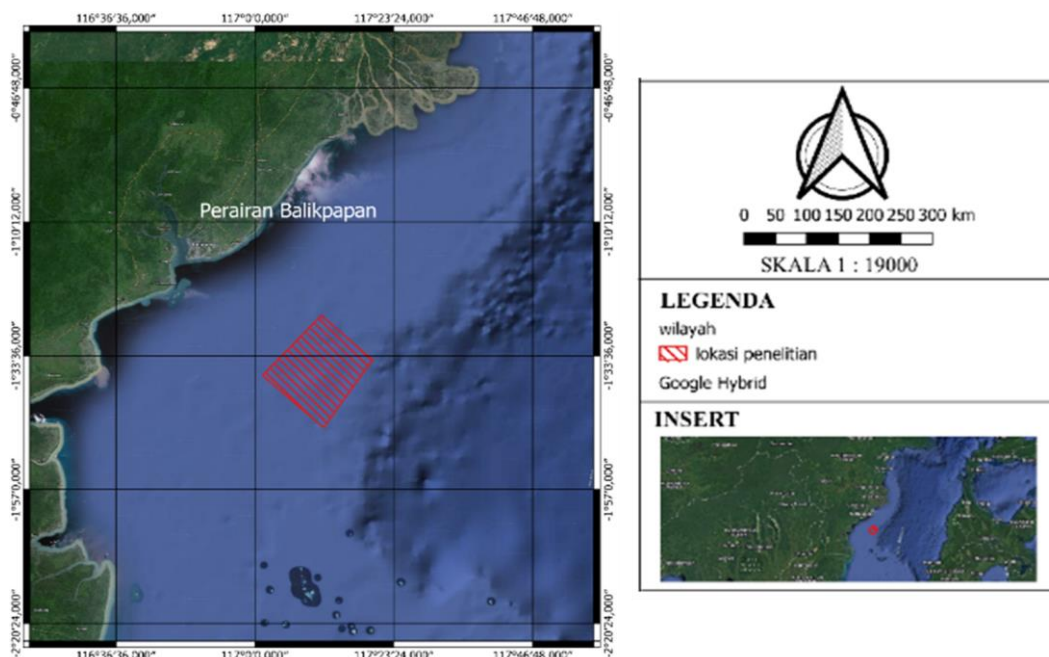
MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di perairan Balikpapan (1°30'42.49"S; 116°59'2.74"E) tepatnya daerah penangkapan nelayan biasa disebut runpon pada ledalama ±10 meter dengan jarak 35 m dari daratan dengan satu titik sampling (Gambar 1) . Penelitian ini dilakukan pada Desember 2024 hingga April 2025. Proses preparasi sampel ikan kembung dilakukan di Laboratorium Konservasi Sumberdaya Perairan. Kemudian, proses destruksi dan analisis konsentrasi logam kadmium (Cd) pada sampel ikan kembung dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Mulawarman.

Alat yang digunakan dalam pengambilan sampel ikan kembung dalam penelitian ini yaitu menggunakan Jala tradisional dan rinta. Adapun alat-alat penunjang lainnya saat dilapangan yaitu GPS, Cool box, plastik klip, alat tulis, cutting map. Alat pengukuran kualitas air yaitu Thermometer, pH meter dan Refractometer. Serta alat untuk analisis di laboratorium menggunakan tabung reaksi, freezer, labu ukur, aluminium foil, oven, gelas beaker kertas saring no 41, furnace, cawan porselin dan tutupnya, botol kaca, gelas ukur, hotplate, mikro pipet, pisau, timbangan, analik, mortar dan alu, dan alat AAS. Adapun bahan-bahan kimia yang digunakan dalam proses analisis yaitu ada aquades, HNO₃ 65%, HCL, NH₄H₂PO₄, Larutan standar Pb 100 ppm dan 10 ppm, larutan standar Cd 100 ppm dan 10 ppm.

Metode Pengambilan sampel, Destruksi dan Analisa Logam Pb dan Cd

Sampel ikan kembung (*Rastrelliger kanagurta*) diambil dari Perairan Teluk Balikpapan menggunakan metode *purposive sampling* (area penangkapan) pada lokasi penangkapan nelayan. Sebanyak 19 ekor sebagai keterwakilan ukuran ikan (kecil, sedang, besar). Penangkapan dilakukan dengan alat tradisional, dan sampel disimpan dalam es sebelum dianalisis di laboratorium. Parameter lingkungan (suhu dan pH) diukur di lokasi saat pengambilan sampel.



Gambar 1. Peta Lokasi Penangkapan ikan kembung (*Rastrelliger kanagurta*)

Preparasi sampel dilakukan dengan metode destruksi kering pada bagian daging, insang, dan organ dalam. Sebelum destruksi, ikan diukur dan diklasifikasikan berdasarkan ukuran, lalu dibedah untuk diambil bagian organ yang dianalisis. Setiap bagian dibersihkan dengan aquadest, ditimbang, dan ditempatkan dalam wadah aluminium foil berlabel untuk menghindari kesalahan identifikasi. Proses destruksi mengacu pada SNI 6989-84:2019 yang telah dimodifikasi, dengan pengeringan sampel dalam oven bersuhu 100°C selama ±3 hari hingga benar-benar kering.

Sebelum analisis, seluruh peralatan dan wadah disterilisasi menggunakan larutan HNO₃ dan akuades dengan perbandingan 1:9. Sampel ikan yang telah dikeringkan dihaluskan menggunakan mortar dan alu, kemudian ±0,5 gram dari masing-masing organ ditimbang dan ditempatkan dalam cawan porselen berlabel. Sampel dibakar dalam furnace pada suhu 450°C selama 18 jam bersama dengan blanko. Setelah didinginkan, masing-masing sampel ditambahkan 1 ml HNO₃ 65% dan dipanaskan di hotplate hingga kering. Sampel kemudian dikalsinasi kembali di furnace pada suhu 450°C selama ±5 jam. Selanjutnya, 5 ml HCl 6N ditambahkan dan dipanaskan hingga kering, lalu dilanjutkan dengan penambahan 10 ml HNO₃ 0,1 M dan 1 ml larutan NH₄H₂PO₄. Sampel dipindahkan ke dalam labu ukur 50 ml dan diencerkan hingga tanda batas dengan HNO₃ 0,1 M. Setelah disaring menggunakan kertas Whatman No. 41, larutan disimpan dalam botol kaca gelap berlabel. Analisis kadar logam Pb dan Cd dilakukan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) tipe iCE 3000 dengan panjang gelombang masing-masing 217,0 nm (Pb) dan 228,8 nm (Cd).

Kualitas kontrol

Kualitas kontrol dilakukan dengan merendam dan membilas seluruh peralatan yang digunakan dalam proses destruksi, seperti cawan keramik, spatula, gelas beaker, labu ukur, botol kaca, dan botol plastik menggunakan larutan HNO₃ 65% yang telah diencerkan dengan aquades (1:9). Tujuan dari prosedur ini adalah untuk meminimalkan risiko kontaminasi silang selama analisis.

Penilaian Risiko Kesehatan Pada Manusia

Analisis risiko merupakan sebuah penilaian risiko kesehatan terhadap logam berat yang dinilai

berdasarkan estimasi Tingkat risiko dan diklasifikasikan sebagai bahaya Kesehatan yang bersifat karsinogeni ataupun non-karsinogenik (Gnonsoro *et al.*, 2022). Beberapa pendekatan yang dilakukan untuk mengetahui potensi risiko kesehatan manusia akibat mengkonsumsi ikan yang mengandung Pb dan Cd

Estimasi Asupan Harian (EAH)

Perhitungan EAH berguna untuk menentukan seberapa nilai paparan logam berat pada ikan yang dikonsumsi oleh masyarakat. Perhitungan nilai paparan logam Cd dan Pb menggunakan persamaan yang dipakai oleh (Bat *et al.*, 2022) dengan rumus :

$$EAH = \frac{KL \times TKH}{BB}$$

Keterangan : EAH = Estimasi Asupan Harian (mg/kg berat badan/hari); KL = Konsentrasi Logam Cd dan Pb pada ikan (mg/g); TKH = Tingkat konsumsi harian konsumen di Kalimantan Timur adalah 0,13 kg/hari atau 47,05 kg/tahun (KKP, 2018); BB = Estimasi berat badan rata-rata konsumen anak-anak (10 tahun) 23.3 kg, remaja (17 tahun) 49 kg, dan dewasa (18 tahun keatas) 60 kg (Muljati *et al.*, 2016).

Hazard Quotient (HQ)

Perhitungan *Hazard Quotient* (HQ) yaitu perhitungan risiko kesehatan yang digunakan untuk menghitung risiko potensi kesehatan yang diakibatkan oleh paparan logam berat melalui konsumsi ikan (Naughton & Petróczki, 2008) dengan perhitungan :

$$THQ = \frac{DP \times TKH \times FP \times KL}{RfD \times BB \times WP} 10^{-3}$$

Keterangan : DP = Durasi paparan logam terhadap konsumen selama hidup (71,3 tahun) berdasarkan (WHO [World Health Organization], 2019); FP = Frekuensi paparan Cd dan Pb (365 hari/tahun); RfD = Dosis referensi logam (Cd = 0,001 mg/kg/hari Pb = 0,004 mg/kg/hari berdasarkan ([United States Environmental Protection Agency] USEPA, 1989); WP = Rata-rata waktu paparan logam Pb dan Cd (365 hari/tahun x 71,3 tahun).

Setelah mendapatkan nilai THQ, nilai Total THQ (TTHQ) ditentukan dari jumlah nilai THQ dari masing-masing Cd dan Pb dengan rumus :

$$TTHQ = THQ_{Cd} + THQ_{Pb}$$

Jika nilai THQ dan TTHQ kurang dari satu ($THQ/TTHQ < 1$), maka dianggap tidak menimbulkan risiko kesehatan bagi manusia. Namun, jika nilai THQ dan TTHQ lebih dari satu ($THQ/TTHQ > 1$), maka memungkinkan logam dapat menimbulkan risiko kesehatan (non-karsinogenik) bagi tubuh manusia (Tanhan *et al.*, 2022).

Risiko Kanker (RK)

Nilai efek karsinogenik digunakan untuk menghitung efek risiko kanker bagi konsumen yang mengkonsumsi ikan mengandung Cd dan Pb yang tinggi secara terus menerus. Menurut (Traina *et al.*, 2019), risiko kanker pada konsumen dapat dihitung menggunakan persamaan rumus berikut:

$$RK = \frac{KL \times FP \times DP \times TKH \times CSf}{BB \times WP} \times 10^{-3}$$

Keterangan : KL = konsentrasi logam Cd pada ikan ($\mu\text{g/g}$); CSf = Slope factor Cd = 0,38 mg/kg Pb = 0,0085 - hari ([United States Environmental] USEPA, 2011)(USEPA, 2000)

Nilai dari RK di penelitian ini akan dibandingkan dengan beberapa kategori risiko kesehatan konsumen yang terpapar zat karsinogenik, yaitu nilai TR yang dihitung $\leq 10^{-6}$ menunjukkan lemah; 10^{-4} – 10^{-3} menunjukkan sedang; dan $\geq 10^{-1}$ menunjukkan sangat tinggi (USEPA, 2000; NYSDH [New York State Departemen of Health], 2007).

Analisis data

Data hasil analisis kandungan logam berat Pb dan Cd diolah menggunakan Microsoft Excel 2019 untuk menghitung nilai minimum, maksimum, dan rata-rata, serta digunakan dalam perhitungan risiko kesehatan akibat konsumsi ikan kembung (*Rastrelliger kanagurta*). Hasil diinterpretasikan secara deskriptif dalam bentuk tabel dan grafik. Konsentrasi logam dalam sampel kemudian dibandingkan dengan ambang batas yang ditetapkan oleh berbagai standar, yaitu: SNI 7387:2009 dan BPOM No. 9 Tahun 2022 (Cd: 0,1 mg/kg; Pb: 0,3 mg/kg), FDA (2007) (Cd: 3,0 mg/kg; Pb: 1,5 mg/kg), serta European Commission Regulation No. 1881/2006 (Cd: 0,05 mg/kg; Pb: 0,3 mg/kg).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengukuran parameter lingkungan, yaitu suhu, pH, dan salinitas masih berada dalam kisaran umum perairan laut tropis dan sesuai kisaran toleransi biota laut. Hasil pengukuran menunjukkan suhu sebesar $29,9^{\circ}\text{C}$, yang dapat mempercepat reaksi antara logam berat dan protein dalam perairan (Budiastuti *et al.*, 2016). Nilai pH yang diperoleh sebesar 8,4, di mana pH berperan penting dalam kelarutan logam berat. Sementara itu, salinitas tercatat sebesar 31 ppt, yang juga dapat memengaruhi mobilitas dan ketersediaan logam berat dalam ekosistem perairan.

Cadmium (Cd) merupakan logam berat golongan transisi yang bersifat toksik dan bioakumulatif. Cd dapat masuk ke dalam tubuh ikan melalui insang, kulit, dan saluran pencernaan, lalu menyebar ke berbagai organ seperti hati, ginjal, dan otot (Yona *et al.*, 2018). Hasil analisis menunjukkan bahwa Cd terdeteksi pada semua organ ikan kembung (*Rastrelliger kanagurta*) dengan konsentrasi bervariasi antarorgan dan ukuran ikan (Gambar 4).

Konsentrasi tertinggi ditemukan pada sistem pencernaan, dengan kisaran 0,035–0,058 mg/kg (rerata 0,045 mg/kg; SD 0,011 mg/kg), dan pada beberapa sampel melebihi batas maksimum yang ditetapkan *European Commission* (0,05 mg/kg). Konsentrasi pada insang berkisar antara 0,029–0,036 mg/kg (rerata 0,031 mg/kg; SD 0,004 mg/kg), sedangkan pada daging lebih rendah, yaitu 0,014–0,028 mg/kg (rerata 0,019 mg/kg; SD 0,008 mg/kg). Tingginya konsentrasi Cd di organ dalam berkaitan dengan fungsinya dalam penyerapan makanan dan detoksifikasi, khususnya hati yang memiliki kemampuan mengikat logam melalui protein metalotionein ((Liu *et al.*, 2022); (Perugini *et al.*, 2014). Rendahnya konsentrasi Cd pada daging disebabkan karena jaringan otot bukan merupakan organ filtrasi utama (Al-Busaidi *et al.*, 2011), meskipun akumulasi tetap dapat terjadi melalui sirkulasi darah, terutama pada paparan jangka panjang (Shafitri *et al.*, 2025). Ukuran ikan juga berperan penting; individu berukuran besar cenderung mengandung Cd lebih tinggi akibat lamanya waktu paparan (Noman *et al.*, 2022). Organ insang menunjukkan konsentrasi Cd menengah, lebih tinggi dari daging namun lebih rendah dari sistem pencernaan. Hal ini disebabkan oleh interaksi langsung insang dengan air, serta luasnya permukaan insang dan lapisan lendir yang memfasilitasi difusi logam (Ali *et al.*, 2019).

Secara keseluruhan, akumulasi Cd dalam tubuh ikan menunjukkan pola distribusi organ-spesifik, dipengaruhi oleh fungsi fisiologis organ dan ukuran tubuh ikan yang berkaitan dengan durasi paparan lingkungan tercemar.

Logam Pb

Timbal (Pb) merupakan logam non-esensial yang bersifat toksik dan belum diketahui manfaat biologisnya bagi organisme. Berdasarkan hasil analisis, konsentrasi Pb terdeteksi di semua organ ikan kembung (*Rastrelliger kanagurta*) pada berbagai ukuran (kecil, sedang, besar) dengan nilai yang relatif homogen, yaitu berkisar antara 0,232–0,242 mg/kg (rerata 0,239 mg/kg; SD 0,003 mg/kg), seperti ditunjukkan pada (Gambar 5).

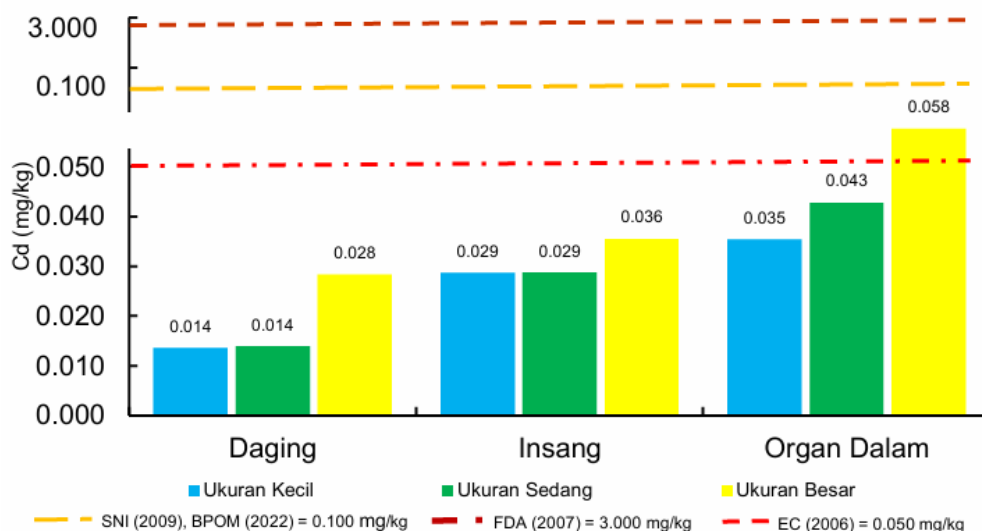
Konsentrasi Pb terendah ditemukan di daging (rerata 0,237 mg/kg), dengan kecenderungan nilai serupa di seluruh ukuran ikan, keberadaan Pb pada daging tidak begitu besar dibandingkan dengan insang dan organ dalam karena daging dan otot bukan merupakan target utama dalam akumulasi logam berat (Tolkou *et al.*, 2023). Daging berfungsi sebagai jaringan penyimpan energi dan memiliki kemampuan ikatan logam yang lebih rendah dibanding organ metabolik. Pada insang, kadar Pb sedikit lebih tinggi (rerata 0,239 mg/kg), dengan kecenderungan meningkat seiring ukuran ikan. Insang merupakan organ yang sangat rentan terhadap kontaminasi air karena memiliki struktur tipis dan permukaan luas yang memungkinkan difusi logam langsung dari

perairan (Canli & Atli, 2003). Oleh karena itu, insang menjadi jalur utama masuknya Pb dari lingkungan ke dalam tubuh ikan. Organ dalam menunjukkan rerata konsentrasi Pb yang serupa (0,239 mg/kg), relatif stabil di semua ukuran ikan. Organ dalam merupakan jalur masuk logam melalui makanan, dan terdiri dari organ-organ seperti usus, hati, dan lambung yang berperan penting dalam metabolisme dan detoksifikasi (Njunga *et al.*, 2023). Proses penyerapan Pb di saluran cerna terjadi melalui dinding usus dan ditransfer ke hati, menjadikan organ dalam sebagai salah satu lokasi utama akumulasi logam berat.

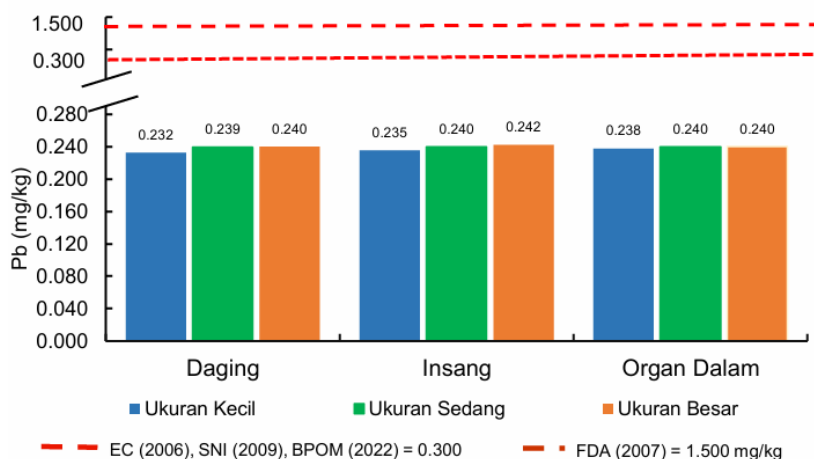
Seluruh konsentrasi Pb pada organ-organ tersebut masih berada di bawah ambang batas maksimum yang ditetapkan oleh BPOM (2022), SNI (2009), EC (2006) sebesar 0,3 mg/kg, dan FDA (2007) sebesar 1,5 mg/kg. Konsistensi kadar Pb di semua organ mengindikasikan paparan lingkungan yang merata, meskipun terdapat perbedaan dalam kemampuan akumulasi masing-masing organ.

Konsentrasi Logam Cd dan Pb berdasarkan Ukuran Ikan

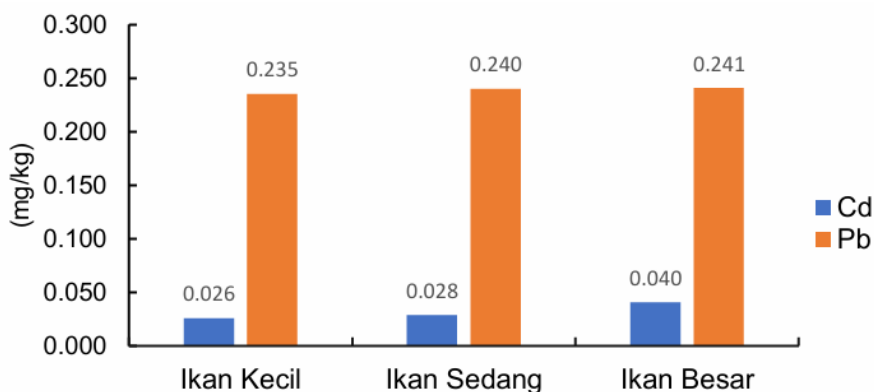
Ikan berperan sebagai bioindikator pencemaran perairan karena mampu mengakumulasi logam berat dalam tubuhnya. Akumulasi ini bersifat persisten dan dapat berpindah melalui rantai makanan (Azis *et al.*, 2018). Hasil analisis menunjukkan bahwa logam Pb dan Cd terdeteksi pada seluruh ukuran ikan kembung



Gambar 2. Konsentrasi logam Cd pada organ ikan



Gambar 3. Konsentrasi logam Pb pada organ ikan



Gambar 4. Konsentrasi logam Cd dan Pb pada (*Rastrelliger kanagurta*) berdasarkan berat ikan

(*Rastrelliger kanagurta*) dari Perairan Balikpapan, dengan kadar Pb yang relatif tinggi (0,231–0,241 mg/kg) dan Cd lebih rendah (0,026–0,040 mg/kg) (Gambar 6).

Konsentrasi tertinggi Cd dan Pb ditemukan pada ikan berukuran besar, diikuti oleh ukuran sedang dan kecil. Pola ini mencerminkan proses bioakumulasi, di mana ikan yang lebih besar dan berumur lebih tua cenderung menyerap logam lebih banyak akibat durasi paparan yang lebih lama (Wandi *et al.*, 2021); (Aslam & Yousafzai, 2017). Ikan besar juga memiliki kemampuan jelajah yang lebih luas, sehingga terpapar sumber logam dari berbagai wilayah perairan. Sebaliknya, ikan kecil menunjukkan konsentrasi logam yang lebih rendah, diduga karena waktu paparan yang singkat dan aktivitas makan yang masih terbatas. Ikan ukuran sedang menunjukkan nilai logam

menengah, yang kemungkinan disebabkan oleh fase pertumbuhan aktif yang ditandai dengan efisiensi metabolik tinggi.

Secara umum, kadar Pb lebih tinggi dibanding Cd. Hal ini sejalan dengan sifat Pb yang lebih mudah terakumulasi dalam tubuh organisme perairan karena kemampuannya berikatan dengan protein dan masuk melalui insang maupun makanan (Mahurpawar, 2015). Sebaliknya, konsentrasi Cd yang lebih rendah kemungkinan dipengaruhi oleh keberadaan Cd yang relatif kecil di perairan dan tingkat akumulasi dalam tubuh ikan yang lebih lambat (Rahman *et al.*, 2012).

Perbandingan Konsentrasi Logam Ikan Kembang

Konsentrasi logam Pb dan Cd pada ikan kembang (*Rastrelliger kanagurta*) yang ditangkap

di Perairan Balikpapan dibandingkan dengan hasil beberapa penelitian di lokasi lain disajikan pada Tabel 1. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kadar Pb di Balikpapan (rata-rata 0,239 mg/kg) lebih rendah dibandingkan temuan Fadlilah *et al.* (2023) di Pantai Kemiren, Cilacap (0,978 mg/kg), namun lebih tinggi dari kadar yang dilaporkan oleh Wahyuningsih *et al.* (2015) di Teluk Jakarta (0,042 mg/kg). Untuk logam Cd, kadar tertinggi tercatat oleh Zulkarnain *et al.* (2013) di Manyar, Gresik (0,128 mg/kg), sedangkan kadar dalam penelitian ini lebih rendah dari nilai tersebut, menunjukkan bahwa pencemaran Cd di Balikpapan relatif terbatas (Tabel 1).

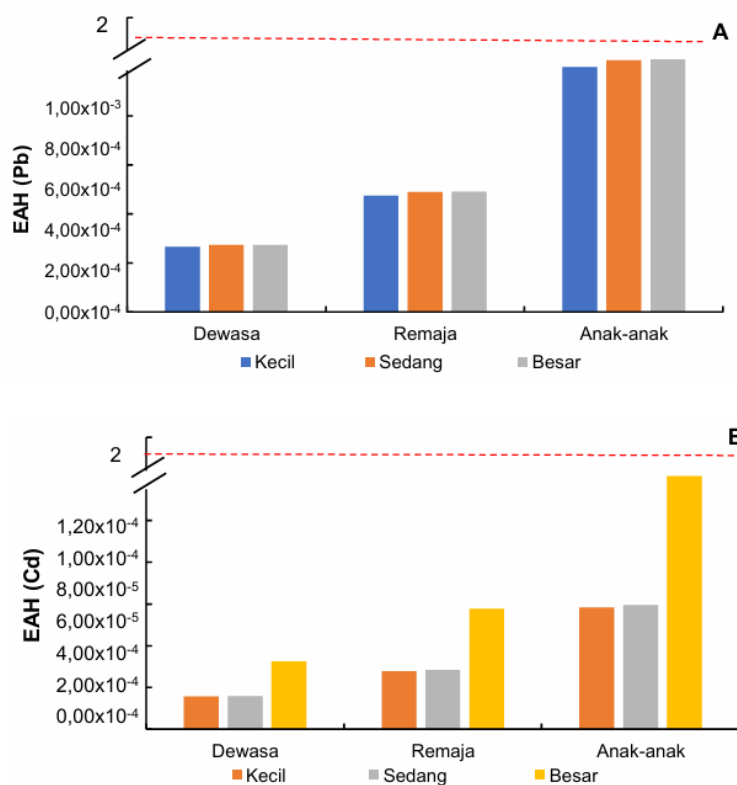
Secara umum, baik pada penelitian ini maupun pada studi lain, kadar Pb cenderung lebih tinggi dibandingkan Cd dalam tubuh ikan kembung, menunjukkan kecenderungan akumulasi Pb yang lebih dominan. Perbedaan konsentrasi logam antar lokasi kemungkinan besar dipengaruhi oleh intensitas aktivitas antropogenik di sekitar perairan, seperti industri, pelabuhan, dan limbah domestik. Temuan ini mendukung peran *R. kanagurta* sebagai bioindikator yang efektif untuk mendeteksi pencemaran logam berat di lingkungan laut, sebagaimana juga dilaporkan oleh Wahyuningsih *et al.* (2015).

Penilaian Risiko Kesehatan

Estimasi Asupan Harian (EAH) logam Pb dan Cd akibat konsumsi daging ikan kembung (*Rastrelliger kanagurta*) disajikan pada Gambar 7, nilai EAH tertinggi ditemukan pada kelompok anak-anak, yaitu $1,29 \times 10^{-3}$ – $1,33 \times 10^{-3}$ mg/kg berat badan/hari (rerata $1,31 \times 10^{-3}$), diikuti remaja ($6,12 \times 10^{-4}$ – $6,31 \times 10^{-4}$; rerata $6,24 \times 10^{-4}$), dan dewasa ($4,99 \times 10^{-4}$ – $5,16 \times 10^{-4}$; rerata $5,10 \times 10^{-4}$). Untuk Cd (Gambar 7B), pola yang sama juga ditemukan, dengan nilai EAH tertinggi pada anak-anak ($7,51 \times 10^{-5}$ – $1,56 \times 10^{-4}$; rerata $1,03 \times 10^{-4}$), remaja ($3,57 \times 10^{-5}$ – $7,44 \times 10^{-5}$; rerata $4,89 \times 10^{-5}$), dan dewasa ($2,92 \times 10^{-5}$ – $6,08 \times 10^{-5}$; rerata $3,99 \times 10^{-5}$). Seluruh nilai EAH baik untuk Pb maupun Cd masih berada jauh di bawah ambang batas asupan harian sementara yang dapat ditoleransi (PTDI) sebesar 2 mg/kg berat badan/hari yang ditetapkan oleh WHO (1989) dan USEPA (2000), menunjukkan bahwa konsumsi daging ikan kembung dari perairan Balikpapan tergolong aman untuk seluruh kelompok usia. Dibandingkan dengan studi Kakar *et al.* (2020) di Pakistan, nilai EAH pada penelitian ini juga lebih rendah, di mana nilai EAH ikan kembung dari sana mencapai 0,0020 mg/kg/hari untuk Pb dan 0,00024 mg/kg/hari untuk Cd.

Tabel 1. Perbandingan kadar Pb dan Cd di beberapa penelitian sebelumnya

Spesies	N	Lokasi	Otot (Daging)		Insang		Organ Dalam		Referensi
			Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	
<i>R. kanagurta</i>	6	Perairan Manyar, Gresik	-	0,128	-	-	-	-	(Zulkarnain <i>et al.</i> , 2013)
<i>R. kanagurta</i>	6	Perairan Jabon, Sidoarjo	-	0,018	-	-	-	-	(Zulkarnain <i>et al.</i> , 2013)
<i>R. kanagurta</i>	6	Perairan Teluk Jakarta	0,042	0,110	-	-	-	-	(Wahyuningsih <i>et al.</i> , 2015)
<i>R. kanagurta</i>	3	Pantai Kemiren Cilacap, Jawa Tengah	0,978	-	-	-	-	-	(Fadlilah <i>et al.</i> , 2023)
<i>R. kanagurta</i>	12	Perairan Pakistan	2,24	0,9	1,87	0,96	-	-	(Kakar <i>et al.</i> , 2020)
<i>R. kanagurta</i>	18	Perairan Balikpapan	0,239	0,019	0,239	0,031	0,238	0,045	Penelitian ini



Gambar 5. Nilai EAH pada manusia, logam Pb (A) dan logam Cd (B). Garis putus-putus sebagai nilai aman konsumsi

Nilai *Hazard Quotient* (HQ) untuk logam Pb dan Cd dalam daging ikan kembung (*Rastrelliger kanagurta*) disajikan pada Gambar 8. Untuk logam Pb (Gambar 8A), nilai HQ pada orang dewasa berkisar antara $1,25 \times 10^{-4}$ – $1,29 \times 10^{-4}$ (rerata $1,27 \times 10^{-4}$), pada remaja $1,53 \times 10^{-4}$ – $1,58 \times 10^{-4}$ (rerata $1,56 \times 10^{-4}$), dan pada anak-anak $3,22 \times 10^{-4}$ – $3,32 \times 10^{-4}$ (rerata $3,28 \times 10^{-4}$). Untuk logam Cd (Gambar 7B), nilai HQ tertinggi juga terdapat pada anak-anak, yaitu $7,51 \times 10^{-5}$ – $1,56 \times 10^{-4}$ (rerata $1,03 \times 10^{-4}$), diikuti remaja (rerata $4,89 \times 10^{-5}$) dan dewasa (rerata $3,99 \times 10^{-5}$).

Seluruh nilai HQ < 1, menunjukkan bahwa konsumsi daging ikan kembung dari perairan Balikpapan tidak menimbulkan risiko non-karsinogenik bagi kelompok usia manapun. Hasil ini diperkuat dengan nilai Total Target Hazard Quotient (TTHQ) pada Gambar 9, dengan rerata sebesar $2,68 \times 10^{-4}$ dan standar deviasi $1,43 \times 10^{-4}$, yang juga berada jauh di bawah ambang batas risiko (TTHQ < 1).

Sesuai dengan Tanhan *et al.* (2022), HQ < 1 mengindikasikan bahwa paparan logam berat tersebut tidak berisiko terhadap kesehatan

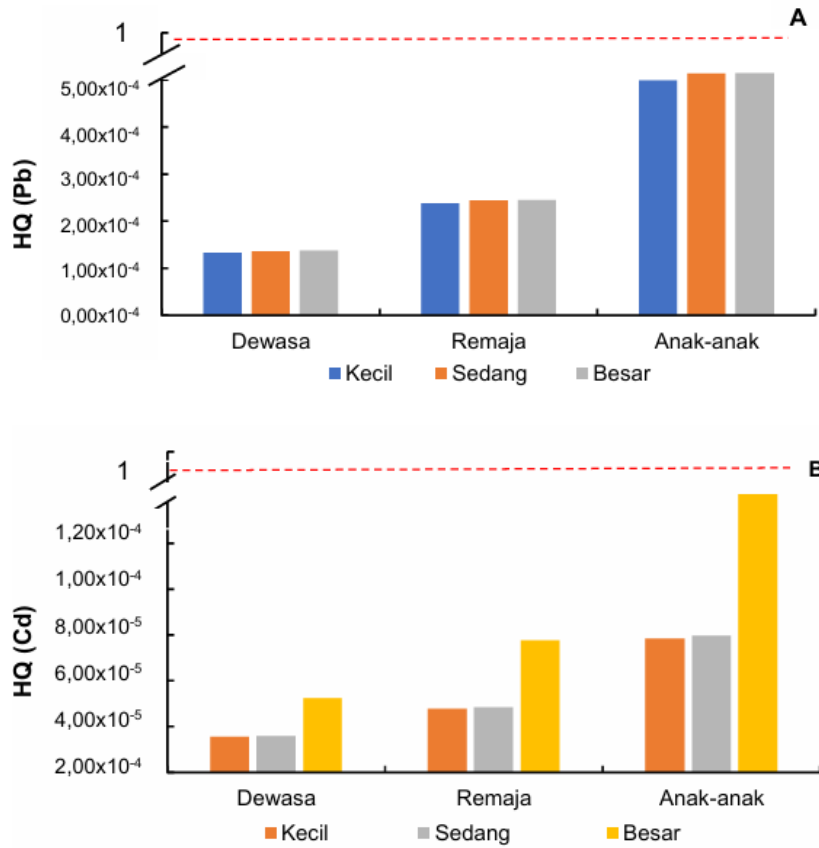
manusia. Namun demikian, nilai HQ yang lebih tinggi pada anak-anak menunjukkan bahwa kelompok ini lebih rentan terhadap paparan logam, sehingga perlu menjadi perhatian khusus dalam pengelolaan risiko.

Risiko kanker (RK) akibat paparan logam Pb dan Cd melalui konsumsi daging ikan kembung (*Rastrelliger kanagurta*) disajikan pada Gambar 10. Untuk logam Pb, nilai RK tertinggi ditemukan pada kelompok anak-anak, berkisar $1,09 \times 10^{-8}$ – $1,13 \times 10^{-8}$ (rerata $1,12 \times 10^{-8}$), diikuti remaja (rerata $5,30 \times 10^{-9}$) dan dewasa (rerata $4,33 \times 10^{-9}$). Pada logam Cd (Gambar 10B), nilai RK lebih tinggi di seluruh kelompok usia, dengan rerata masing-masing sebesar $3,91 \times 10^{-8}$ (anak-anak), $1,86 \times 10^{-8}$ (remaja), dan $1,52 \times 10^{-9}$ (dewasa).

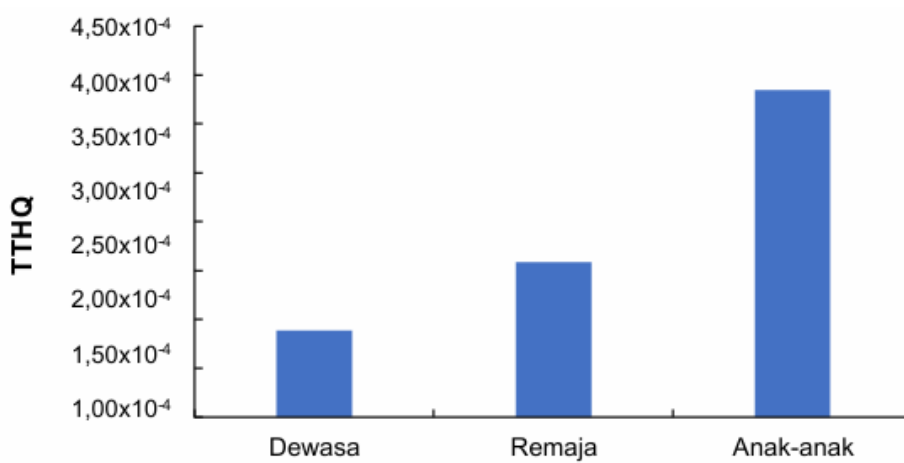
Meskipun nilai RK untuk Cd lebih tinggi dibandingkan Pb, seluruh nilai RK yang diperoleh masih berada di bawah ambang risiko yang ditetapkan oleh USEPA dan New York State Department of Health, yaitu $\leq 1 \times 10^{-6}$ yang dikategorikan sebagai risiko kanker “lemah”. Berdasarkan klasifikasi tersebut, TR antara $\leq 10^{-6}$ dianggap lemah, 10^{-4} – 10^{-3} sedang, dan $\geq 10^{-1}$

sangat tinggi (USEPA, 2000; NYSDOH, 2007). Dengan demikian, konsumsi daging ikan kembung dari Perairan Balikpapan tidak menimbulkan risiko kanker yang signifikan bagi konsumen dari berbagai kelompok usia selama dikonsumsi dalam

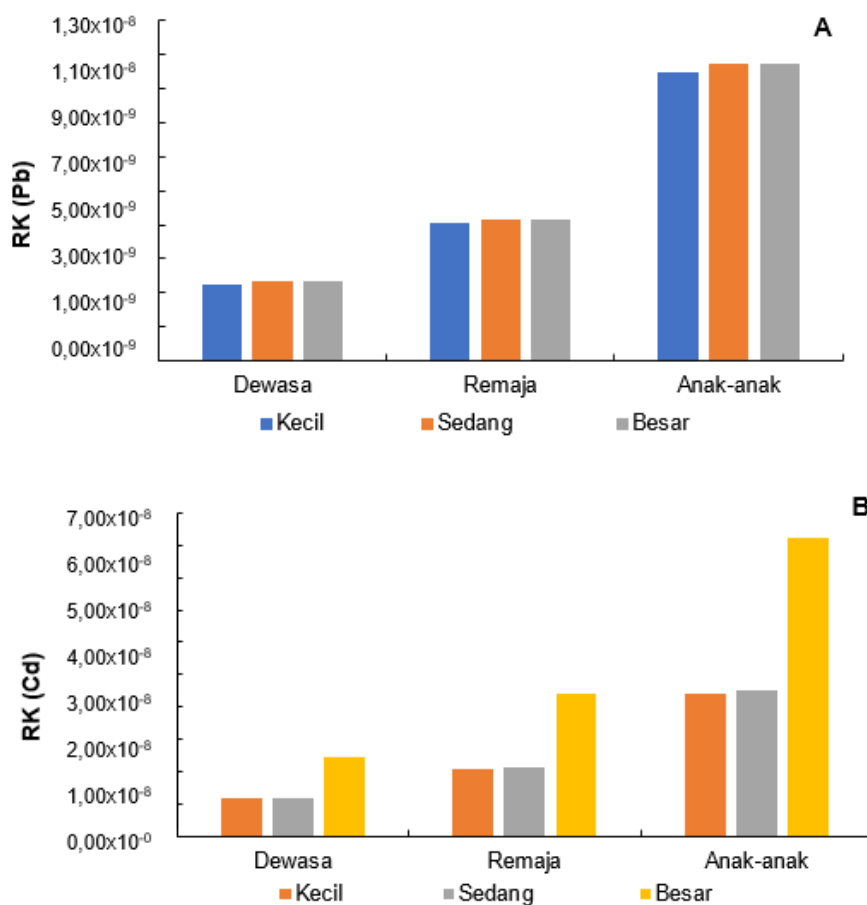
jumlah normal. Namun, perhatian khusus perlu diberikan pada kelompok anak-anak, yang cenderung memiliki nilai RK lebih tinggi karena rasio konsumsi terhadap berat badan yang lebih besar.



Gambar 6. Nilai HQ pada manusia, logam Pb (A) dan logam Cd (B). Garis putus-putus sebagai nilai aman konsumsi



Gambar 7. Nilai TTHQ pada logam Pb dan Cd



Gambar 8. Nilai RK pada manusia , logam Pb (A) dan logam Cd (B).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, logam Pb dan Cd terdeteksi pada semua ukuran dan organ ikan kembung (*Rastrelliger kanagurta*) dari Perairan Balikpapan, dengan kadar Pb (rerata 0,239 mg/kg) lebih tinggi dibanding Cd (rerata 0,032 mg/kg). Meskipun kadar Pb masih berada di bawah ambang batas aman, kadar Cd pada sistem pencernaan melebihi batas yang ditetapkan oleh European Commission. Akumulasi logam berat lebih tinggi pada ikan berukuran besar, menunjukkan adanya pengaruh ukuran tubuh terhadap bioakumulasi logam, terutama di organ sistem pencernaan yang berperan dalam metabolisme dan detoksifikasi. Hasil estimasi asupan harian (EAH), *Target Hazard Quotient* (THQ), dan risiko karsinogenik (RK) menunjukkan bahwa konsumsi daging ikan kembung dari lokasi penelitian tidak menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan bagi anak-anak, remaja, maupun orang dewasa (THQ<1 dan RK<10⁻⁶).

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Busaidi, M., 2011. Toxic metals in commercial marine fish in Oman with reference to national and international standards. *Chemosphere*, 85(1): 67-73. doi: 10.1016/j.chemosphere.2011.05.044
- Ali, H., Khan, E. & Ilahi, I., 2019. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 3(1): 6730305. doi: 10.1155/2019/6730305
- Andini, A.D., Paputungan, M.S., Suryana, I. & Ritonga, I.R., 2024. Konsentrasi kadmium (Cd) pada kerang darah (*Anadara granosa*) dari beberapa pasar tradisional di Kota Samarinda, dan potensi risikonya terhadap kesehatan manusia. *Buletin Oseanografi Marina*, 13(3): 351-362. doi: 10.14710/buloma.v13i3.63526

- Any Yusriana Dewi, G. & Samson, S.A., 2022. Analisis kandungan logam berat Pb dan Cd di Muara Sungai Manggar Balikpapan. *Ecotrophic*, 12: 117-124. doi: 10.24843/EJES.2018.v12.i02.p02
- Ardan, Akhmad Rafi'i & Ghitarina, 2022. Identifikasi sampah laut makro di Pantai Le Grandeur Kota Balikpapan Kalimantan Timur. *Tropical Aquatic Sciences*, 1: 16-11.
- Aslam, S. & Yousafzai, A.M., 2017. Chromium toxicity in fish: a review article. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(3): 1483-1488. doi: 10.22271/j.ento
- Azis Nu'man, M., Herawati, T., Anna, Z. & Nurruhwati, I., 2018. Pengaruh logam kromium (Cr) terhadap histopatologi organ insang, hati dan daging ikan di Sungai Cimanuk bagian hulu Kabupaten Garut. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 9(1): 119-128.
- Balikpapan, D.P., 2022. Analisis dan Direktori Konsumsi Pangan Kota Balikpapan.
- Bat, L., Şahin, F., Öztekin, A. & Arici, E., 2022. Toxic metals in seven commercial fish from the southern Black Sea: toxic risk assessment of eleven-year data between 2009 and 2019. *Biological Trace Element Research*, 200(2): 832-843.
- Budiastuti, P., Raharjo, M., Astorina Yunita Dewanti Bagian Kesehatan Lingkungan, N. & Kesehatan Masyarakat, F., 2016. Analisis pencemaran logam berat timbal di badan Sungai Babon Kecamatan Genuk Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 4: 2356-3346. doi: 10.14710/jkm.v4i5.14489
- Damayati, D.S., Jastam, M.S. & Faried, N.A., 2017. Analisis kandungan otak-otak ikan kembung (*Rastrelliger brachyoma*) substitusi buah lamun (*Enhalus acoroides*) sebagai alternatif perbaikan gizi di masyarakat. *Al-Sihah: The Public Health Science Journal*. 9(1): 19-30 doi: 10.24252/as.v9i1.3103
- Fadlilah, I., Triwuri, N.A. & Prasadi, O., 2023. Biokonsentrasi faktor logam berat timbal (Pb) pada ikan di Pantai Kemiren Cilacap, Jawa Tengah. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(1): 94. doi: 10.26418/jtlb.v11i1.59490
- Gnonsoro, U.P., Ake Assi, Y.E.D., Sangare, N.S., Kouakou, Y.U. & Trokourey, A., 2022. Health risk assessment of heavy metals (Pb, Cd, Hg) in hydroalcoholic gels of Abidjan, Côte d'Ivoire. *Biological Trace Element Research*, 1-9.
- Jamaluddin, 2025. Identifikasi marker antroposen pada endapan pesisir Manggar Kota Balikpapan. *Petrogas: Journal of Energy and Technology*, 7(2): 97-110.
- Kakar, A., Hayat, M.T., Abbasi, A.M., Pervez, A., Mahmood, Q., Farooq, U., Akbar, T.A., Ali, S., Rizwan, M., El-Serehy, H.A. & Abdel-Daim, M.M., 2020. Risk assessment of heavy metals in selected marine fish species of Gadani shipbreaking area and Pakistan. *Animals*, 10(10): 1-17. doi: 10.3390/ani10101738
- KKP, 2018. Potensi Usaha dan Peluang Investasi Kelautan dan Perikanan Provinsi Kalimantan Timur.
- Liu, J., Cao, L., Huang, W. & Dou, S., 2022. Species- and tissue-specific mercury bioaccumulation in five fish species from Laizhou Bay in the Bohai Sea of China. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 31(3): 504-513. doi: 10.1007/s00343-013-2277-x
- Maddusa, S.S., Paputungan, M.G., Syarifuddin, A.R., Maambuat, J. & Alla, G., 2017. Kandungan logam berat timbal (Pb), merkuri (Hg), zink (Zn) dan arsen (As) pada ikan dan air Sungai Tondano, Sulawesi Utara. *Al-Sihah: Public Health Science Journal*, 9(2): 153-159.
- Mahesa Islamy Eka Juniar, Jailani & Ghitarina, 2022. Analisis kandungan logam berat (Pb, Cd, dan Cu) pada lamun (*Enhalus acoroides* dan *Thalassia hemprichii*) sebagai bioindikator pencemaran di Teluk Balikpapan, Kota Balikpapan, Kalimantan Timur. *Tropical Aquatic Sciences*, 1(2): 102-111. doi: 10.30872/tas.v1i2.649
- Mahurpawar, M., 2015. Effects of heavy metals on human health. *International Journal of Research*, 3(9SE): 1-7. doi: 10.29121/granthaalayah.v3.i9se.2015.3282
- Muljati, S., Triwinarto, A., Utami, N. & Hermina, 2016. Gambaran median tinggi badan dan berat badan menurut kelompok umur pada penduduk Indonesia yang sehat berdasarkan hasil Riskesdas 2013. *Journal of Nutrition and Food Research*, 39(2): 137-144.
- Naughton, D.P. & Petróczi, A., 2008. Heavy metal ions in wines: meta-analysis of target hazard quotients reveal health risks. *Chemistry Central Journal*, 2(1): 1-7. doi: 10.1186/1752-153X-2-22

- Njinga, R.L., Adebayo, A.S. & Olufemi, A.P., 2023. Bioaccumulation of heavy metals in water and organs of *Tilapia brevimanus* and *Euthynnus alletteratus* from a coastal water in southwestern Nigeria. *Environmental Sciences Europe*, 35(1): 85. doi: 10.1186/s12302-023-00794-5
- Noman, M.A., Feng, W., Zhu, G., Hossain, M.B., Chen, Y., Zhang, H. & Sun, J., 2022. Bioaccumulation and potential human health risks of metals in commercially important fishes and shellfishes from Hangzhou Bay, China. *Scientific Reports*, 12(1): 4634. doi: 10.1038/s41598-022-08471-y
- Nugroho, S.M., Nurtyas, M. & Astuti, L.R., 2022. Pendampingan dan pemberian makanan tambahan “Nugget Ikan Kembung” pada ibu hamil anemia di wilayah kerja Puskesmas Depok 2, Sleman, Yogyakarta. *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian Masyarakat*, 1(1): 132-137.
- NYS DH [New York State Department of Health], 2007. *Hopewell Precision Area Contamination Appendix C - NYS DOH Procedure for Evaluating Potential Health Risks for Contaminants of Concern*.
- Perugini, M., Manera, M., Grotta, L., Abete, M.C., Tarasco, R. & Amorena, M., 2014. Heavy metal (Hg, Cr, Cd, and Pb) contamination in urban areas and wildlife reserves: honeybees as bioindicators. *Biological Trace Element Research*, 140(2): 170-176. doi: 10.1007/s12011-010-8688-z
- Rahman, M.S., Molla, A.H., Saha, N. & Rahman, A., 2012. Study on heavy metals levels and its risk assessment in some edible fishes from Bangshi River, Savar, Dhaka, Bangladesh. *Food Chemistry*, 134(4): 1847-1854. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.03.099
- Ray, S. & Vashishth, R., 2024. From water to plate: reviewing the bioaccumulation of heavy metals in fish and unraveling human health risks in the food chain. *Emerging Contaminants*, 10(4): 100358. doi: 10.1016/j.emcon.2024.100358
- Shafitri, S.S., Sugiono, M.R.A., Paradiesta, A.F.N., Aulia, S.Z., Ilmiah, J.A. & Hunaifi, I., 2025. Impact of coma duration on functional outcomes after septic encephalopathy: a literature review. *Jurnal Biologi Tropis*, 25(4a): 359-367. doi: 10.29303/jbt.v25i4a.10516
- Sahetapy, J.M.F., 2011. Toksisitas Logam Berat Timbal (Pb) dan Pengaruhnya pada Konsumsi Oksigen dan Respon Hematologi Juvenil Ikan Kerapu Macan (*Epinephelus fuscoguttatus*). Repository IPB University
- Sembel, D.T. & Lingkungan, T., 2015. Dampak Pencemaran dari Berbagai Bahan Kimia dalam Kehidupan Sehari-hari. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Sitorus, S., Ilang, Y. & Nugroho, R.A., 2020. Analisis kadar logam Pb, Cd, Cu, As pada air, sedimen dan bivalvia di Pesisir Teluk Balikpapan. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, 7(2): 89. doi: 10.31258/dli.7.2.p.89-94
- Sumah Yulaipi & Aunurohim, 2023. Bioakumulasi logam berat timbal (Pb) dan hubungannya dengan laju pertumbuhan ikan mujair (*Oreochromis mossambicus*). *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 2: 2337-3520.
- Tanhan, P., Lansubsakul, N., Phaochoosak, N., Sirinupong, P., Yeesin, P. & Imsilp, K., 2022. Human health risk assessment of heavy metal concentration in seafood collected from Pattani Bay, Thailand. *Toxics*, 11(1): 18.
- Tolkou, A.K., Toubanaki, D.K. & Kyzas, G.Z., 2023. Detection of arsenic, chromium, cadmium, lead, and mercury in fish: effects on the sustainable and healthy development of aquatic life and human consumers. *Sustainability*, 15(23): 16242. doi: 10.3390/su152316242
- Traina, A., Bono, G., Bonsignore, M., Falco, F., Giuga, M., Quinci, E.M., Vitale, S. & Sprovieri, M., 2019. Heavy metals concentrations in some commercially key species from Sicilian coasts (Mediterranean Sea): potential human health risk estimation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 168: 466-478.
- USEPA, 2000. *Risk Assessment and Fish Consumption Limits*. Third Edition Office. Office of Science and Technology, Office of Water, Washington, DC.
- USEPA [United States Environmental], 2011. *Exposure Factors Handbook 2011 Edition (Final Report)*. Washington, DC, 414.
- USEPA [United States Environmental Protection Agency], 1989. *Toxicological Review of Formaldehyde Inhalation Assessment*. Washington, DC. Accessed 24 November 2025.
- Wahyuningsih, T., Rumanta, M. & Nurdin, G., 2015. Pencemaran Pb dan Cd pada hasil

- perikanan laut tangkapan nelayan di sekitar Teluk Jakarta. *Seminar Nasional Konservasi dan Pemanfaatan Sumber Daya Alam 2015*, 1(1): 105-111.
- Wandi, Wayan Kantunb & Awaluddin, 2021. Bioakumulasi logam berat timbal (Pb) pada ikan bungo. *Journal of Fisheries and Marine Science*, 3(1): 182-187. doi: 10.31605/siganus.v3i1.1206
- WHO [World Health Organization], 2019. Life Expectancy at Birth: The Average Number of Years That a Newborn Could Expect to Live. Indonesia, Both Sexes, 2000-2019.
- Yona, D., Hikmah Julinda Sari, S., Kretarta, A., Ravena Putri Effendy, C., Nur Aini, M. & Arif As, M., 2018. Distribusi dan status kontaminasi logam berat pada sedimen di sepanjang Pantai Barat Perairan Selat Bali, Banyuwangi. *Torani*, 1(2): 21-30. doi: 10.35911/torani.v1i2
- Zulkarnain, M.N.F., Rahardja, B.S. & Alamsjah, M.A., 2013. The study of heavy metal content cadmium (Cd) species on *Rastrelliger kanagurta* and *Anadara granosa* in Manyar, Gresik and Jabon Sidoarjo. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 5(1): 37-42.