

ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT ARSENIK (AS), KADMIUM (CD), DAN TIMBAL (PB) PADA CUMI-CUMI DI PERAIRAN PELABUHAN PERIKANAN SAMUDERA BITUNG

Friska Elsita Saragih, Ricky C. Sondakh , Jootje M.L. Umboh

Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan Masyarakat,
Universitas Sam Ratulangi

Email Korespondensi: friskasaragih121@student.unsrat.ac.id

Abstract

The Bitung Ocean Fishing Port (PPS Bitung) is a coastal area with high vessel activity, making it a potential source of heavy metal contamination in surrounding waters. Squid, as a widely consumed marine organism, is vulnerable to heavy metal accumulation through bioaccumulation and biomagnification processes. This study aimed to analyze the content of heavy metals arsenic (As), cadmium (Cd), and lead (Pb) in squid from the waters of PPS Bitung and compare the results with the maximum contamination limits set by BPOM Regulation No. 9 of 2022. This was an observational study with a cross-sectional design. Samples consisted of 3 squid specimens collected from 3 different points at Pier T of PPS Bitung, analyzed using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) at BARISTAND Manado. Results showed arsenic (As) concentrations ranging from 1.14 to 2.08 mg/kg, with samples from point II (2.08 mg/kg) and point III (2.01 mg/kg) exceeding the BPOM maximum limit of 2.0 mg/kg. Cadmium (Cd) concentrations ranged from 0.02 to 0.08 mg/kg and lead (Pb) from 0.04 to 0.08 mg/kg, both below the maximum limit of 0.30 mg/kg. Squid from two sampling points did not meet food safety requirements based on the arsenic parameter, while cadmium and lead parameters across all samples remained within safe limits.

Keywords: heavy metals, arsenic, cadmium, lead, squid, PPS Bitung

Abstrak

Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Bitung merupakan kawasan pesisir dengan aktivitas kapal yang tinggi sehingga berpotensi menjadi sumber pencemaran logam berat di perairan. Cumi-cumi sebagai organisme laut yang banyak dikonsumsi masyarakat rentan mengakumulasi logam berat melalui proses bioakumulasi dan biomagnifikasi. Penelitian ini bertujuan menganalisis kandungan logam berat arsenik (As), kadmium (Cd), dan timbal (Pb) pada cumi-cumi di perairan PPS Bitung serta membandingkannya dengan batas maksimum cemaran berdasarkan Peraturan BPOM Nomor 9 Tahun 2022. Penelitian ini merupakan penelitian observasional dengan desain potong lintang (*cross-sectional*). Sampel terdiri dari 3 ekor cumi-cumi yang diambil dari 3 titik berbeda di Area Dermaga T PPS Bitung, kemudian dianalisis menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) di BARISTAND Manado. Hasil penelitian menunjukkan kandungan arsenik (As) berkisar 1,14–2,08 mg/kg, di mana sampel dari titik II (2,08 mg/kg) dan titik III (2,01 mg/kg) melampaui batas maksimum BPOM sebesar 2,0 mg/kg. Kandungan kadmium (Cd) berkisar 0,02–0,08 mg/kg dan timbal (Pb) berkisar 0,04–0,08 mg/kg, keduanya masih berada di bawah batas maksimum yang ditetapkan sebesar 0,30 mg/kg. Disimpulkan bahwa cumi-cumi dari dua titik tidak memenuhi syarat keamanan pangan berdasarkan parameter arsenik, sementara parameter kadmium dan timbal pada seluruh sampel masih dalam batas aman

Kata Kunci: logam berat, arsenik, kadmium, timbal, cumi-cumi, PPS Bitung

PENDAHULUAN

Pencemaran laut akibat aktivitas manusia telah menjadi permasalahan global yang mengancam ekosistem perairan dan kesehatan masyarakat. Logam berat merupakan kontaminan berbahaya yang bersifat non-degradable sehingga cenderung terakumulasi di lingkungan perairan. Penelitian di Port Everglades, Amerika Serikat menunjukkan sedimen pelabuhan terkontaminasi arsenik (As) berkisar 0,607–223 µg/g, kadmium (Cd) hingga 0,916 µg/g, serta timbal (Pb) hingga 73,8 µg/g (Giarikos et al., 2023). Di Teluk Manado, Sulawesi Utara, konsentrasi rata-rata arsenik di bawah 1 mg/kg, kadmium sekitar 1,8 mg/kg, dan timbal sekitar 11,2 mg/kg (Kepel et al., 2021).

Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Bitung merupakan pelabuhan perikanan terbesar di Sulawesi Utara dan pusat perikanan tuna Indonesia Timur, dengan kapasitas menampung 1.048 unit kapal perikanan dan produktivitas mencapai 54.000 ton per tahun pada 2023 (Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2025). Intensitas aktivitas kapal yang tinggi, termasuk bongkar muat, pengisian bahan bakar, pengecatan kapal, serta pembuangan limbah operasional, berpotensi meningkatkan konsentrasi logam berat di perairan sekitarnya. Total berat sampah yang dihasilkan armada perikanan di PPS Bitung mencapai 48 kg, mayoritas berupa sampah anorganik (70% plastik) (Putri et al., 2024).

Cumi-cumi merupakan organisme laut yang banyak dikonsumsi masyarakat Indonesia dan dikenal sebagai bioakumulator logam berat yang efisien. Kelompok Cephalopoda dapat mengakumulasi kadmium, arsenik, dan logam berat lainnya melalui proses bioakumulasi dan biomagnifikasi dalam rantai makanan (Nurjanah et al., 2021). Studi menunjukkan konsentrasi arsenik pada mantel cumi-cumi dapat mencapai sekitar 40 µg/g (Li et al., 2024), sementara kadar kadmium pada jaringan lunak cumi dapat mencapai $3,247 \pm 1,553$ ppm (Babu et al., 2022). Sekitar 20% spesies cumi-cumi memiliki kadar kadmium lebih tinggi dari 3 ppm, membuktikan kemampuan bioakumulasi yang tinggi.

Regulasi keamanan pangan terkait logam berat di Indonesia diatur dalam Peraturan BPOM Nomor 9 Tahun 2022, yang menetapkan batas maksimum cemaran (BMC) untuk produk perikanan: arsenik (As) total sebesar 2,0 mg/kg; timbal (Pb) sebesar 0,30 mg/kg; dan kadmium (Cd) sebesar 0,30 mg/kg. Namun data kandungan logam berat pada cumi-cumi di perairan PPS Bitung masih sangat terbatas. Penelitian ini bertujuan menganalisis kandungan logam berat arsenik (As), kadmium (Cd), dan timbal (Pb) pada cumi-cumi di

perairan PPS Bitung serta membandingkannya dengan batas maksimum cemaran berdasarkan Peraturan BPOM Nomor 9 Tahun 2022.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian observasional deskriptif kuantitatif berbasis pemeriksaan laboratorium yang dilaksanakan di Area Dermaga T Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Bitung, Kelurahan Aertembaga Satu, Kecamatan Aertembaga, Kota Bitung, Provinsi Sulawesi Utara. Analisis kandungan logam berat dilakukan di Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri (BARISTAND) Manado sebagai laboratorium terakreditasi. Penelitian berlangsung selama 1 bulan dengan periode pengambilan sampel satu kali pada Januari 2026. Populasi penelitian adalah seluruh cumi-cumi yang ditangkap oleh nelayan di Area Dermaga T PPS Bitung. Sampel berjumlah 3 ekor cumi-cumi yang diambil dari 3 titik pengambilan berbeda menggunakan teknik purposive sampling. Kriteria inklusi meliputi: cumi-cumi segar hasil tangkapan nelayan setempat, berat 150–400 gram per ekor, serta kondisi fisik segar (mata jernih, warna normal, tekstur keras). Kriteria eksklusi mencakup: cumi-cumi yang telah mengalami proses pengawetan, ukuran terlalu kecil (<150 gram) atau terlalu besar (>400 gram), dan kondisi tidak segar. Pengambilan sampel dilakukan di tiga titik representatif di Area Dermaga T PPS Bitung sebagai berikut: Titik I (koordinat 1,447474; 125,2113) merupakan area dermaga tempat kapal bersandar dan pengecatan kapal; Titik II (koordinat 1,44717; 125,211) merupakan area sekitar industri perikanan dan galangan kapal; Titik III (koordinat 1,447273; 125,2109) merupakan area dermaga tempat bongkar muat. Sampel yang diperoleh terdiri dari dua spesies: cumi bunga (*Sepioteuthis lessoniana*) pada Titik I (37 cm/288 g) dan Titik III (33 cm/236 g), serta cumi biasa (*Uroteuthis chinensis*) pada Titik II (42 cm/437 g). Setiap sampel disimpan dalam wadah steril (Whirl-pak) berlabel pada suhu 0–4°C dan segera dikirim ke laboratorium.

Metode Analisis Laboratorium

Analisis kandungan logam berat dilakukan menggunakan metode destruksi basah dengan pembacaan menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). Standar metode yang digunakan adalah SNI 2354.6:2016 untuk analisis arsenik, dan SNI 2354.5:2011 untuk analisis kadmium dan timbal. Variabel penelitian adalah konsentrasi logam berat As, Cd, dan Pb dalam jaringan daging cumi-cumi, dinyatakan dalam satuan

mg/kg (berat basah). Hasil analisis selanjutnya dibandingkan dengan batas maksimum cemaran yang ditetapkan dalam Peraturan BPOM Nomor 9 Tahun 2022.

HASIL



Gambar 1. *Sepioteuthis lessoniana*



Gambar 2. *Uroteuthis chinensis*



Gambar 3. *Sepioteuthis lessoniana*

Hasil pemeriksaan laboratorium kandungan logam berat arsenik (As) pada cumi-cumi dari ketiga titik pengambilan sampel di PPS Bitung disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Kadar Arsenik (As) pada Cumi-cumi di PPS Bitung

Titik	Jenis Cumi-cumi	Panjang/Berat	Konsentrasi As (mg/kg)	BPOM (mg/kg)	Ket.
I	<i>Sepioteuthis lessoniana</i>	37 cm / 288 g	1,14	2,0	MS
II	<i>Uroteuthis chinensis</i>	42 cm / 437 g	2,08	2,0	TMS
II	<i>Sepioteuthis lessoniana</i>	33 cm / 236 g	2,01	2,0	TMS

Sumber: Hasil Laboratorium BARISTAND Manado, 2026. MS = Memenuhi Syarat; TMS = Tidak Memenuhi Syarat

Berdasarkan Tabel 1, kandungan arsenik pada ketiga sampel cumi-cumi berkisar antara 1,14–2,08 mg/kg. Sampel dari Titik I menunjukkan konsentrasi terendah sebesar 1,14 mg/kg, masih di bawah batas maksimum BPOM. Sebaliknya, sampel dari Titik II (2,08 mg/kg) dan Titik III (2,01 mg/kg) melampaui batas maksimum cemaran yang ditetapkan Peraturan BPOM Nomor 9 Tahun 2022 sebesar 2,0 mg/kg, sehingga dinyatakan Tidak Memenuhi Syarat (TMS) keamanan pangan.

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Kadar Kadmium (Cd) pada Cumi-cumi di PPS Bitung

Titik	Jenis Cumi-cumi	Panjang/Berat	Konsentrasi As (mg/kg)	BPOM (mg/kg)	Ket.
I	<i>Sepioteuthis lessoniana</i>	37 cm / 288 g	0,03	0,30	MS
II	<i>Uroteuthis chinensis</i>	42 cm / 437 g	0,08	0,30	MS
II	<i>Sepioteuthis lessoniana</i>	33 cm / 236 g	0,02	0,30	MS

Sumber: Hasil Laboratorium BARISTAND Manado, 2026. MS = Memenuhi Syarat

Berdasarkan hasil analisis laboratorium pada Tabel 2. Menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat kadmium (Cd) pada ketiga titik berkisar antara 0,02-0,08 mg/kg. Nilai kandungan tertinggi ditemukan pada titik II sebesar 0,08 mg/kg dan titik I sebesar 0,03 mg/kg, sedangkan konsentrasi terendah pada titik III sebanyak 0,02 mg/kg. Seluruh hasil pemeriksaan kandungan kadmium masih berada di bawah batas ambang yang diterapkan pada Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 9 Tahun 2022.

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Kadar Timbal (Pb) pada Cumi-cumi di PPS Bitung

Titik	Jenis Cumi-cumi	Panjang/Berat	Konsentrasi As (mg/kg)	BPOM (mg/kg)	Ket.
I	<i>Sepioteuthis lessoniana</i>	37 cm / 288 g	0,08	0,30	MS
II	<i>Uroteuthis chinensis</i>	42 cm / 437 g	0,04	0,30	MS
II	<i>Sepioteuthis lessoniana</i>	33 cm / 236 g	0,08	0,30	MS

Sumber: Hasil Laboratorium BARISTAND Manado, 2026. MS = Memenuhi Syarat

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium pada tabel.4 kadar timbal (Pb) yang terdeteksi pada area pelabuhan bervariasi antara 0,04-0,08 mg/kg. Nilai konsentrasi tertinggi ditemukan pada titik I dan titik III dengan hasil yang sama sebesar 0,08 mg/kg, sedangkan kadar kandungan terendah yaitu pada titik II sebesar 0,04 mg/kg. Sehingga hasil keseluruhan yang didapati pada ke tiga titik sampel masih jauh dari standar baku

mutu yang telah diatur pada peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 9 Tahun 2022.

DISKUSI

Kandungan Arsenik (As) pada Cumi-cumi di PPS Bitung

Tingginya konsentrasi arsenik pada Titik II (2,08 mg/kg) dan Titik III (2,01 mg/kg) yang melampaui batas maksimum BPOM berkaitan erat dengan karakteristik aktivitas di lokasi tersebut. Titik II merupakan area bongkar muat ikan, tempat bersandar kapal, pengisian bahan bakar minyak (BBM), pengecatan kapal menggunakan cat anti-fouling, serta pembuangan limbah domestik dari kapal berupa sisa makanan dan minyak masak (Suwardi & Widiastuti, 2024). Penggunaan cat anti-fouling yang mengandung senyawa arsenat organik merupakan sumber kontaminasi arsenik yang signifikan di kawasan pelabuhan (Lim et al., 2022). Cumi-cumi yang berada di area ini mengakumulasi arsenik melalui insang, sistem pencernaan, dan hepatopankreas dalam proses bioakumulasi.

Perbandingan dengan literatur internasional menunjukkan bahwa kelompok Cephalopoda memang memiliki tendensi mengakumulasi arsenik dalam konsentrasi yang bervariasi sesuai kondisi lingkungannya. Ramon et al. (2021) melaporkan konsentrasi arsenik total pada *Loligo vulgaris* dari perairan Mediterania Tenggara sebesar 36,63 mg/kg. Rangasamy & Muniyandi (2025) menemukan kandungan arsenik yang sangat tinggi pada *Sepioteuthis lessoniana* dari pantai Rameswaram, India, mencapai 116,25 mg/100g dengan batas baku mutu setempat 1 mg/kg. Sebaliknya, Kurniawati et al. (2025) menemukan kadar arsenik pada cumi-cumi segar di pasar tradisional Kota Bogor hanya 0,01–0,09 mg/kg, jauh di bawah ambang batas, mengindikasikan pengaruh signifikan lingkungan pelabuhan aktif terhadap akumulasi arsenik dibandingkan perairan umum.

Dari sisi risiko kesehatan, paparan arsenik anorganik secara kronis dapat menimbulkan berbagai penyakit serius. Hatta et al. (2023) menyatakan bahwa konsumsi makanan yang mengandung arsen anorganik dapat menyebabkan kanker kulit, paru-paru, hati, ginjal, dan kandung kemih. Dwiyitno et al. (2024) dalam studinya tentang paparan arsenik anorganik dari produk perikanan pada penduduk Indonesia menemukan bahwa paparan pada kelompok balita mencapai 0,06–0,08 µg/kg berat badan/hari, sekitar dua kali lebih tinggi dibandingkan rata-rata semua kelompok umur (0,04 µg/kg BB/hari). Temuan ini menegaskan bahwa pengawasan terhadap kandungan arsenik pada produk

perikanan dari kawasan pelabuhan aktif seperti PPS Bitung merupakan prioritas yang tidak dapat diabaikan untuk melindungi kesehatan masyarakat.

Kandungan Kadmium (Cd) pada Cumi-cumi di PPS Bitung

Meskipun konsentrasi kadmium (Cd) pada seluruh sampel masih dalam batas aman BPOM ($< 0,30$ mg/kg), perbandingan dengan penelitian di lokasi lain menunjukkan variasi yang cukup signifikan. Penelitian Rauf et al. (2026) pada cumi-cumi di perairan Desa Langgula, Gorontalo, menemukan kadar kadmium mencapai 0,385 mg/kg pada satu titik pengambilan sampel, yang telah melampaui batas BPOM. Wiradana et al. (2024) melaporkan konsentrasi kadmium pada produk Cephalopoda di Pelabuhan Benoa, Bali, sebesar $0,1917 \pm 0,256$ mg/kg, lebih tinggi dibandingkan ikan demersial beku ($0,00741 \pm 0,009$ mg/kg; $p \leq 0,05$), mengkonfirmasi bahwa cumi-cumi memang secara alami bertendensi mengakumulasi kadmium lebih tinggi dibandingkan jenis ikan bersirip.

Mekanisme peningkatan konsentrasi kadmium di perairan pelabuhan terkait erat dengan karakteristik sedimen. Analisis korelasi yang dilakukan Zhang et al. (2025) menunjukkan bahwa Total Organic Carbon (TOC) memiliki korelasi yang sangat kuat dengan konsentrasi kadmium di sedimen ($r = 0,938$), mengindikasikan bahwa bahan organik dari aktivitas pelabuhan berperan penting dalam mengikat dan melepaskan logam berat ke perairan. Meskipun kadar kadmium dalam penelitian ini masih di bawah ambang batas, Lu et al. (2025) memperingatkan bahwa paparan kadmium dalam jangka panjang, bahkan pada konsentrasi rendah, berkaitan signifikan dengan peningkatan risiko kanker payudara, dengan risiko yang menjadi signifikan secara statistik ketika konsentrasi Cd urin melebihi $0,46$ $\mu\text{g/g}$ kreatinin. Dampak nonkarsinogenik yang dapat ditimbulkan meliputi gangguan fungsi ginjal, kerapuhan tulang, dan kerusakan paru-paru akibat akumulasi kronis.

Kandungan Timbal (Pb) pada Cumi-cumi di PPS Bitung

Konsentrasi timbal (Pb) yang terdeteksi pada seluruh sampel ($0,04$ – $0,08$ mg/kg) jauh berada di bawah batas maksimum BPOM sebesar $0,30$ mg/kg. Hasil ini konsisten dengan penelitian Azkiya & Sholiha (2025) yang menemukan kadar timbal pada cumi-cumi (*Loligo sp.*) beku sebesar $0,075$ mg/kg, masih dalam batas aman. Namun, kontras dengan temuan Faisal et al. (2021) pada cumi kering di Pasar Sambu Medan yang menunjukkan kadar timbal mencapai $6,65$ mg/kg, melampaui SNI 7387:2009 sebesar $1,5$ mg/kg untuk moluska. Perbedaan yang sangat signifikan ini kemungkinan besar

disebabkan oleh proses pengeringan yang memekatkan kandungan logam berat, sekaligus menunjukkan bahwa proses pengolahan dapat meningkatkan risiko paparan secara dramatis.

Timbal masuk ke perairan pelabuhan melalui beragam jalur, antara lain pengkristalan timbal di atmosfer yang dibawa air hujan, limbah bahan bakar kapal, cat lambung kapal, dan pembuangan air ballast (Adhani & Husaini, 2017). Dogan et al. (2025) menemukan bahwa konsentrasi Pb pada jaringan mantel (bagian yang umum dikonsumsi) cumi-cumi *Loligo vulgaris* dari pesisir Türkiye berkisar 0,219–0,950 µg/g, mendekati batas atas yang diizinkan FAO sebesar 1,0 µg/g, mengindikasikan potensi risiko pada perairan dengan aktivitas pelabuhan yang lebih intensif. Penelitian Muniroh et al. (2026) pada ibu hamil di Jepara membuktikan bahwa peningkatan Daily Intake of Metal (DIM) timbal dari konsumsi ikan atau hasil laut berkorelasi dengan kecenderungan peningkatan risiko anemia ($p\text{ tren} = 0,061$), menegaskan perlunya pengendalian kontaminasi timbal pada sumber pangan laut bahkan pada kadar yang masih di bawah regulasi.

KESIMPULAN

Kandungan arsenik (As) pada cumi-cumi di perairan PPS Bitung berkisar antara 1,14–2,08 mg/kg. Sampel dari Titik II (2,08 mg/kg) dan Titik III (2,01 mg/kg) melampaui batas maksimum cemaran Peraturan BPOM Nomor 9 Tahun 2022 sebesar 2,0 mg/kg, sehingga dinyatakan tidak memenuhi syarat keamanan pangan. Kandungan kadmium (Cd) berkisar 0,02–0,08 mg/kg dan timbal (Pb) berkisar 0,04–0,08 mg/kg; keduanya berada di bawah batas maksimum 0,30 mg/kg dan memenuhi syarat keamanan pangan. Temuan ini mengindikasikan bahwa aktivitas intensif di kawasan pelabuhan PPS Bitung, khususnya bongkar muat, pengisian BBM, dan pengecatan kapal, berkontribusi nyata terhadap peningkatan konsentrasi arsenik pada biota laut di sekitarnya.

REKOMENDASI

Pemerintah dan instansi terkait disarankan untuk melakukan pemantauan rutin kandungan logam berat di perairan PPS Bitung secara berkala dan memperketat pengawasan pembuangan limbah di kawasan pelabuhan. Pengelola PPS Bitung diharapkan menyediakan fasilitas pengelolaan limbah yang memadai dari aktivitas kapal

maupun industri perikanan. Masyarakat dan konsumen disarankan untuk tidak mengonsumsi cumi-cumi secara berlebihan, terutama yang berasal dari perairan kawasan pelabuhan aktif. Nelayan diharapkan tidak membuang limbah seperti oli bekas, cat kapal, dan sisa bahan bakar langsung ke laut. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperbanyak jumlah sampel dan titik pengambilan, melakukan pengambilan sampel longitudinal lintas musim, serta menjalankan kajian analisis risiko kesehatan secara kuantitatif guna mengestimasi besaran risiko aktual yang diterima masyarakat akibat konsumsi cumi-cumi dari perairan PPS Bitung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih secara khusus disampaikan kepada para dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan bimbingan selama proses penelitian dan penyusunan naskah. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pihak Pelabuhan Perikanan Samudera Bitung atas izin dan dukungan selama pelaksanaan penelitian, serta kepada Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri (BARISTAND) Manado yang telah membantu proses analisis laboratorium.

REFERENSI

- Adhani, R., & Husaini. (2017). *Logam Berat Sekitar Manusia*. Lambung Mangkurat University Press.
- Azkiya, A. A., & Sholiha, I. (2025). Analisis mutu sensori, cemaran mikroba *Escherichia coli* dan cemaran logam timbal (Pb) pada cumi-cumi (*Loligo Sp*) beku di Queen Seafood Pasuruan. *Mutiara: Jurnal Penelitian dan Karya Ilmiah*, 3(6). <https://doi.org/10.59059/mutiara.v3i6.2737>
- Babu, K. V., Kumar, B. V., & Prasad, K. H. C. (2022). Bioaccumulation of heavy metals in squid (*Loligo duvaucelii*) from Tuticorin coastal waters. *International Journal of Science and Research*, 11(12). <https://doi.org/10.21275/SR221223120204>
- Badan Pengawas Obat dan Makanan RI. (2022). Peraturan BPOM Nomor 9 Tahun 2022 tentang Persyaratan Cemaran Logam Berat dalam Pangan Olahan. BPOM RI.
- Dogan, S., Ugurlu, E., Duysak, T., & Duysak, Ö. (2025). The accumulation of heavy metals in European squid (*Loligo vulgaris*) collected from the coasts of Türkiye and its impact on public health. *Biology Bulletin*, 52, 68. <https://doi.org/10.1134/S1062359024612096>
- Dwiyitno, D., Andarwulan, N., Lioe, H. N., Imanningsih, N., Giriwono, P. E., Presiana, D., & Takhwifa, F. (2024). Estimated inorganic arsenic from total arsenic in fishery

- products and its health risk to the Indonesian population. *Emerging Contaminants*, 10, 100340. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100340>
- Faisal, H., Wati, F., & Purnomo, D. S. (2021). Uji kadar timbal (Pb) pada ikan teri dan cumi kering yang beredar di Pasar Sambu Medan secara spektrofotometri serapan atom. *Jurnal Indah Sains dan Klinis*, 2(1). <https://doi.org/10.52622/jisk.v2i1.10>
- Giarikos, D. G., White, L., Daniels, A. M., & Patterson, C. (2023). Assessing the ecological risk of heavy metal sediment contamination from Port Everglades, Florida USA. *PeerJ*, 11, e16152. <https://doi.org/10.7717/peerj.16152>
- Hatta, H., Rizal, Gonibala, A. P., & Rakanita, Y. (2023). *Toksikologi*. CV. Media Sains Indonesia.
- Kepel, B. J., Bodhi, W., Fatimawali, & Tallei, T. E. (2021). Heavy metal (As, Cd, Cr, Hg, Pb) analysis and identification of heavy metal resistant bacteria in sediments from Manado Bay. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 926, 012096. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/926/1/012096>
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2025). KKP siap kembangkan PPS Bitung jadi eco fishing port untuk dukung PIT. <https://kkp.go.id>
- Kurniawati, F., Hutami, R., & Kurniawan, M. F. (2025). Analisis kandungan arsenik, formalin, dan Salmonella sp. cumi segar di pasar tradisional Kota Bogor. *Jurnal Agroindustri Halal*, 11(1). <https://doi.org/10.30997/jah.v11i1.9992>
- Li, M., Zhang, B., & Fang, Z. (2024). Bioaccumulation of arsenic, cadmium, chromium, cobalt, copper, and zinc in *Uroteuthis edulis* from the East China Sea. *Toxics*. <https://doi.org/10.3390/toxics12070496>
- Lim, Y. C., Chen, C. F., Tsai, M. L., Wu, C. H., Lin, Y. L., Wang, M. H., & Dong, C. D. (2022). Impacts of fishing vessels on the heavy metal contamination in sediments: A case study of Qianzhen fishing port in southern Taiwan. *Water*, 14, 1174. <https://doi.org/10.3390/w14071174>
- Lu, Y., Dang, Y., Chen, Y., Hui, X., Li, X., Fan, X., & Yang, K. (2025). The impact of cadmium exposure on breast cancer risk: Exploring dose-response relationships and mediating effects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 297, 118247. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118247>
- Muniroh, M., Nugraheni, A., Mulyono, M., Nindita, Y., Swastawati, F., & Koriyama, C. (2026). Estimating daily intake of heavy metals from fish consumption and its association with hemoglobin levels in Indonesian pregnant women. *Discover Applied Sciences*, 8, 233. <https://doi.org/10.1007/s42452-026-08239-3>
- Nurjanah, Abdullah, A., Hidayat, T., & Seulalae, A. V. (2021). *Moluska: Karakteristik, potensi dan pemanfaatan sebagai bahan baku industri pangan dan non pangan*. Syiah Kuala University Press.
- Putri, E. T., Manohas, J., Simau, S., Manengkey, J. I., Saranga, R., & Karyanto. (2024). Identifikasi sampah dari kapal perikanan yang berbasis di Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Bitung. *Jurnal Segara*, 19(3), 207–212. <https://doi.org/10.15578/segara.v19i3.15119>
- Ramon, D., Morick, D., Croot, P., Berzak, R., Scheinin, A., Tchernov, D., & Britzi, M. (2021). A survey of arsenic, mercury, cadmium, and lead residues in seafood from the south-eastern Mediterranean Sea. *Journal of Food Science*, 86(3), 1153–1161. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15627>

- Rangasamy, E., & Muniyandi, M. (2025). Evaluation of nutritional profile and potentially toxic metal accumulation in cephalopods from the Rameswaram coast, southeastern India. *Food and Humanity*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2025.100634>
- Rauf, A. P., Jusuf, H., & Maksum, T. S. (2026). Identification of cadmium (Cd) content in the catch cumi (*Loligo* Sp) in Langgula Village, Sub-District Batudaa Beach, Gorontalo Regency. *International Journal of Health, Economics, and Social Sciences*, 8(1). <https://doi.org/10.56338/ijhess.v8i1.9978>
- Suwardi, & Widiastuti, T. (2024). *Ekonomi lingkungan pelabuhan: Konsep dan aplikasi*. CV. Adanu Abimata.
- Wiradana, P. A., Sandhika, I. M. G. S., Sudaryatma, P. E., Widhiantara, I. G., Nyandra, M., Oktariani, A. F., & Kurniawan, S. B. (2024). Occurrence and consumer health risk assessment of heavy metals in frozen demersal fish and cephalopod products from Benoa Port, Bali Province. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 16(1), 41–50. <https://doi.org/10.20473/jkl.v16i1.2024.41-50>
- Zhang, S., Dong, C., Wang, J., Zheng, M., Chen, X., Zhou, Y., & Mao, X. (2025). Spatial variations and potential risks of heavy metals in sediments, seawater, and marine organisms of Yuhuan Coastal Area, China. *Frontiers in Marine Science*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2025.1708328>