

Original Research Paper

Zinc (Zn) Accumulation in Mantis Shrimp (*Harpiosquilla raphidea*) from Sungsang, Banyuasin

Ryan Syekhan¹, Wike Ayu Eka Putri^{1*}, Riris Aryawati¹, Beta Susanto Barus¹, Fitri Agustriani¹, Melki¹

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Sriwijaya, Inderalaya, Sumatera Selatan, Indonesia;

Article History

Received : February 03th, 2026

Revised : April 19th, 2026

Accepted : May 07th, 2026

*Corresponding Author: **Wike Ayu Eka Putri**, Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya, Inderalaya, Sumatera Selatan, Indonesia; Email: Wike_ayu_ep@unsri.ac.id

Abstract: The Sungsang area in the Musi River estuary is an important fishing ground that is potentially exposed to zinc (Zn) contamination due to intensive anthropogenic activities. This study aimed to analyze Zn accumulation in mantis shrimp (*Harpiosquilla raphidea*) and to evaluate its consumption safety. Samples were collected from local collectors and analyzed using flame atomic absorption spectrophotometry in accordance with SNI 2354-13:2014. The results showed that Zn concentrations ranged from 20.24 to 21.27 mg/kg, with an average of 20.70 mg/kg, remaining below the maximum permissible limit established by Dirjen POM (1989). Risk assessment based on estimated intake indicated that Zn exposure from mantis shrimp consumption is within safe limits for humans. Overall, these findings confirm that mantis shrimp from Sungsang are safe for consumption with respect to Zn contamination. This study provides scientific evidence for food safety assessment and underscores the need for continuous monitoring of heavy metal contamination to support sustainable coastal resource management.

Keywords: Food Safety; Heavy Metal Accumulation; Mantis Shrimp; Zinc.

Pendahuluan

Pencemaran logam berat di ekosistem pesisir menjadi perhatian global karena sifatnya yang toksik, persisten, dan tidak dapat terdegradasi secara alami. Logam berat seperti seng (Zn) dapat terakumulasi dalam organisme akuatik melalui proses bioakumulasi dan biomagnifikasi, sehingga berpotensi mengganggu fungsi fisiologis biota serta menimbulkan risiko kesehatan bagi manusia melalui rantai makanan (Pratama *et al.*, 2021; Siahainenia & Selanno, 2022). Meskipun Zn merupakan unsur esensial yang dibutuhkan dalam jumlah kecil, paparan dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan efek toksik. Oleh karena itu, pemantauan kandungan logam berat pada organisme perairan menjadi penting dalam upaya pengendalian keamanan pangan dan kualitas lingkungan.

Kawasan estuari, khususnya yang dipengaruhi oleh aktivitas antropogenik,

merupakan wilayah yang rentan terhadap akumulasi logam berat. Aktivitas seperti industri, transportasi laut, dan permukiman dapat meningkatkan masukan logam berat ke perairan, yang selanjutnya terakumulasi pada sedimen sebagai reservoir utama pencemar (Nugraha *et al.*, 2022). Organisme benthik, termasuk krustasea, memiliki tingkat kontak yang tinggi dengan sedimen sehingga berpotensi mengakumulasi logam berat dalam jumlah lebih besar. Dalam konteks ini, udang mantis (*Harpiosquilla raphidea*) menjadi salah satu biota yang relevan untuk dikaji karena hidup di dasar perairan dan memiliki nilai ekonomi penting sebagai komoditas perikanan.

Meskipun beberapa penelitian melaporkan bahwa konsentrasi Zn di kolom air dan sedimen Muara Sungai Musi masih berada pada kategori normal (Putri *et al.*, 2026), keberadaan logam berat tersebut tetap berpotensi terakumulasi dalam tubuh biota melalui interaksi dengan sedimen. Hasil penelitian Emilia *et al.* (2022)

juga menunjukkan adanya kandungan logam berat Cd pada udang jerbung di perairan Desa Sungsang I, yang mengindikasikan bahwa organisme krustasea di kawasan tersebut rentan terhadap akumulasi logam berat. Namun demikian, informasi mengenai akumulasi Zn pada udang mantis yang didaratkan di kawasan Sungsang serta implikasinya terhadap keamanan konsumsi masih terbatas. Keterbatasan data ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian yang perlu diisi, khususnya dalam konteks evaluasi risiko konsumsi berbasis data lokal. Penelitian ini menawarkan kebaruan melalui analisis akumulasi Zn yang dikombinasikan dengan pendekatan penilaian risiko konsumsi menggunakan parameter MWI, MTI, dan ADI pada udang mantis di kawasan Sungsang.

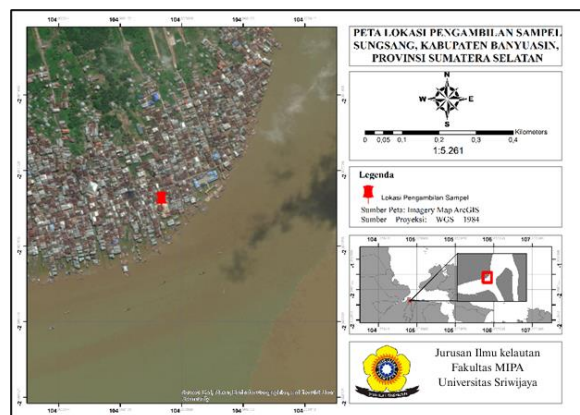
Kecamatan Banyuasin II atau Sungsang merupakan wilayah pesisir di muara Sungai Musi yang berhadapan langsung dengan Selat Bangka dan berperan sebagai daerah penangkapan perikanan utama (Detmuliati & Pratama, 2024). Kawasan Sungsang, Kabupaten Banyuasin, Sumatera Selatan dikenal sebagai sentra nelayan tradisional dengan aktivitas penangkapan ikan yang intensif di perairan muara dan laut sekitar (Mentari & Hasibuan, 2025). Tingginya aktivitas manusia di kawasan ini berpotensi meningkatkan tekanan pencemaran terhadap lingkungan perairan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis akumulasi logam berat Zn pada udang mantis yang didaratkan di Sungsang serta mengevaluasi tingkat keamanannya untuk dikonsumsi.

Bahan dan Metode

Desain dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif-analitik yang bertujuan untuk menganalisis akumulasi logam berat Zn serta mengevaluasi tingkat keamanannya untuk dikonsumsi. Penelitian dilaksanakan pada bulan Oktober 2025. Sampel udang mantis diperoleh dari pengepul yang mewakili hasil tangkapan nelayan di Sungsang, Kabupaten Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan. Lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 1. Preparasi dan destruksi sampel dilakukan di Laboratorium Oseanografi dan Instrumentasi Kelautan, Universitas Sriwijaya, sedangkan analisis logam berat

dilakukan di UPTD Laboratorium Lingkungan, Dinas Lingkungan Hidup dan Pertanian Provinsi Sumatera Selatan.



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel

Teknik Pengambilan Sampel

Sampel dalam penelitian ini adalah udang mantis (*Harpiosquilla raphidea*) yang didaratkan di kawasan Sungsang, Kabupaten Banyuasin. Sampel diambil menggunakan teknik *purposive sampling*, dengan kriteria panjang 20–25 cm dan berat 67–111 g per individu. Sebanyak ± 500 g sampel yang terdiri dari beberapa individu dikumpulkan dari pengepul sebagai representasi hasil tangkapan nelayan, kemudian dijadikan sampel komposit dan dibagi menjadi lima ulangan untuk analisis.

Preparasi dan Analisis Sampel

Sampel udang mantis dibersihkan, dipisahkan dagingnya dari karapas, kemudian dagingnya dihomogenkan. Sebanyak ± 5 g sampel dari masing-masing ulangan digunakan untuk analisis. Proses destruksi dilakukan menggunakan metode pengabuan kering mengacu pada SNI 2354-13:2014 dengan suhu hingga 450 °C. Abu yang dihasilkan dilarutkan menggunakan HNO_3 dan HCl. Analisis konsentrasi Zn dilakukan menggunakan spektrofotometer serapan atom nyala (AAS) pada panjang gelombang 213,9 nm. Kurva kalibrasi dibuat dari larutan standar dengan rentang konsentrasi tertentu dan dinyatakan valid apabila nilai koefisien determinasi (R^2) $\geq 0,995$.

Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan untuk menentukan konsentrasi logam berat Zn serta mengevaluasi tingkat keamanan

konsumsi udang mantis. Variabel utama yang dianalisis adalah konsentrasi Zn (mg/kg) pada jaringan daging udang mantis. Variabel turunan meliputi nilai *Maximum Weekly Intake* (MWI), *Maximum Tolerable Intake* (MTI), dan *Acceptable Daily Intake* (ADI) yang digunakan sebagai indikator penilaian risiko konsumsi. Perhitungan konsentrasi logam berat Zn mengacu pada SNI 2354-13:2014 dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Konsentrasi Zn mg/kg} = \frac{(D - E) \times F_p \times V}{W}$$

Keterangan:

- D : Konsentrasi contoh hasil pembacaan AAS (mg/L)
- E : Konsentrasi blanko (mg/L)
- F_p : Faktor pengenceran
- V : Volume akhir larutan contoh (L)
- W : Berat contoh (kg)

Hasil konsentrasi Zn yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan baku mutu yang ditetapkan oleh Dirjen POM (1989), yaitu sebesar 100 mg/kg, untuk menentukan tingkat kelayakan konsumsi. Penilaian batas konsumsi dilakukan menggunakan parameter MWI, MTI, dan ADI. Nilai MWI dihitung berdasarkan berat badan rata-rata orang dewasa Indonesia (58 kg) dengan nilai PTWI Zn sebesar 7 mg/kg berat badan/minggu menurut FAO/WHO (2004), menggunakan rumus:

$$\text{MWI} = \text{Weight} \times \text{PTWI}$$

Selanjutnya, nilai MTI dihitung untuk menentukan batas maksimum konsumsi udang per minggu berdasarkan konsentrasi Zn dalam sampel, dengan rumus:

$$\text{MTI} = \frac{\text{MWI}}{C_t}$$

C_t merupakan konsentrasi logam berat Zn dalam sampel (mg/kg). Nilai ADI dihitung untuk menentukan batas konsumsi harian dengan rumus:

$$\text{ADI} = \frac{\text{MTI}}{7}$$

Nilai MWI, MTI, dan ADI yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi tingkat keamanan konsumsi udang mantis berdasarkan kandungan logam berat Zn.

Hasil dan Pembahasan

Kandungan Logam Berat Zn pada Udang Mantis

Konsentrasi logam berat Zn pada udang mantis yang didaratkan di kawasan Sungsang menunjukkan kisaran nilai yang relatif sempit, yaitu 20,24–21,27 mg/kg, dengan rata-rata sebesar 20,70 mg/kg (Tabel 1). Nilai tertinggi ditemukan pada sampel S4 sebesar 21,27 mg/kg, sedangkan nilai terendah terdapat pada sampel S5 sebesar 20,24 mg/kg. Rentang yang sempit ini mengindikasikan bahwa paparan Zn di lingkungan perairan Sungsang cenderung homogen, sehingga menghasilkan tingkat akumulasi yang relatif seragam pada organisme.

Tabel 1. Konsentrasi Logam Berat Zn pada Udang Mantis

Kode Sampel	Konsentrasi Logam Berat Zn (mg/kg)
S1	21,24
S2	20,47
S3	20,31
S4	21,27
S5	20,24
Rata-rata	20,70

Secara ekologis, akumulasi Zn pada udang mantis berkaitan erat dengan interaksi organisme dengan sedimen sebagai media penyimpanan utama logam berat. Sedimen di perairan estuari diketahui memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi terhadap logam berat, sehingga berperan sebagai sumber kontaminan bagi organisme bentik (Nugraha *et al.*, 2022). Fenomena ini juga dilaporkan secara global, di mana sedimen estuari berfungsi sebagai *sink* sekaligus *source* logam berat yang dapat terlepas kembali ke kolom air akibat perubahan kondisi lingkungan seperti pH dan redoks (Zhang *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2023).

Udang mantis sebagai organisme bentik memiliki intensitas kontak yang tinggi dengan sedimen, sehingga berpotensi mengakumulasi logam berat dalam jumlah signifikan. Hal ini sejalan dengan penelitian pada krustasea lain yang menunjukkan bahwa kelompok ini memiliki kecenderungan bioakumulasi logam

berat yang tinggi akibat interaksi langsung dengan substrat dan kebiasaan makan (Wang *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2022).

Meskipun demikian, konsentrasi Zn yang diperoleh dalam penelitian ini masih berada di bawah baku mutu yang ditetapkan oleh Dirjen POM (1989) sebesar 100 mg/kg, sehingga secara umum belum menunjukkan tingkat pencemaran yang membahayakan. Namun, interpretasi ini perlu dilakukan secara hati-hati karena logam berat bersifat akumulatif dan dapat meningkat seiring waktu apabila terjadi peningkatan input pencemar dari aktivitas antropogenik di kawasan Sungsang, Kabupaten Banyuasin.

Jika dibandingkan dengan penelitian lain, konsentrasi Zn pada udang mantis dalam penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi Zn pada udang putih di Teluk Kao yang mencapai 82,68 mg/kg (Pertiwi, 2018), namun lebih tinggi dibandingkan dengan udang windu di Sidoarjo yang berkisar 3,016–3,930 mg/kg (Sejati *et al.*, 2022). Variasi konsentrasi Zn pada udang di lokasi yang berbeda menunjukkan bahwa faktor lingkungan dan biologis berperan penting dalam proses akumulasi. Faktor seperti ukuran tubuh, umur, serta kondisi fisiologis organisme dapat memengaruhi kapasitas bioakumulasi logam berat (Yi *et al.*, 2021). Selain itu, dinamika estuari seperti fluktuasi salinitas, arus, dan input bahan pencemar dari daratan turut memengaruhi konsentrasi logam berat (Islam *et al.*, 2022).

Selain itu, keterbatasan penelitian ini perlu diperhatikan, terutama terkait penggunaan sampel komposit yang berpotensi mengaburkan variasi individu dalam akumulasi logam berat, serta cakupan lokasi yang terbatas pada satu kawasan. Meskipun demikian, hasil penelitian ini memberikan kontribusi awal mengenai akumulasi Zn pada udang mantis di kawasan Sungsang yang dapat digunakan sebagai dasar pemantauan kualitas lingkungan perairan secara berkelanjutan.

Evaluasi Batas Konsumsi dan Risiko Kesehatan

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai *Maximum Weekly Intake* (MWI) untuk logam berat Zn adalah sebesar 406 mg/minggu, sedangkan nilai *Maximum Tolerable Intake* (MTI) berkisar antara 19,12–20,06 kg/minggu dengan rata-rata 19,62 kg/minggu, dan nilai

Acceptable Daily Intake (ADI) berkisar antara 2,73–2,87 kg/hari dengan rata-rata 2,80 kg/hari (Tabel 2). Secara umum, nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa konsumsi udang mantis dari kawasan Sungsang masih berada dalam batas aman berdasarkan kandungan Zn.

Tabel 2. Batas Maksimum Konsumsi Zn pada Udang Mantis

Kode Sampel	MWI	MTI	ADI
S1	406	19,12	2,73
S2	406	19,84	2,83
S3	406	19,99	2,86
S4	406	19,09	2,73
S5	406	20,06	2,87
Rata-rata	406	19,62	2,80

Namun demikian, nilai MTI dan ADI yang relatif tinggi perlu ditafsirkan secara kritis karena merupakan estimasi teoretis yang didasarkan pada asumsi berat badan standar dan tidak mempertimbangkan variasi pola konsumsi masyarakat. Dalam studi penilaian risiko pangan, pendekatan berbasis parameter seperti MWI, MTI dan ADI sering digunakan sebagai metode konservatif untuk menghindari *underestimation* terhadap risiko paparan logam berat (USEPA, 2019; EFSA, 2020). Hal ini menunjukkan bahwa parameter MWI, MTI, dan ADI lebih tepat digunakan sebagai pendekatan konservatif dalam penilaian risiko.

Kajian pada organisme bentik lain, seperti kerang darah, memperlihatkan kecenderungan yang serupa dalam penentuan batas aman konsumsi logam berat Zn. Kalangie *et al.* (2018) dalam penelitiannya di perairan Tambaklorok, Semarang, melaporkan bahwa nilai MWI Zn yang dihitung untuk manusia dengan berat badan 60 kg mencapai sekitar 420 mg/minggu, sedangkan untuk 45 kg sekitar 315 mg/minggu. Variasi kadar Zn yang terakumulasi dalam jaringan kerang darah menghasilkan nilai MTI Zn yang berkisar antara 21,35–48,89 kg/minggu untuk berat badan 60 kg dan 16,01–36,67 kg/minggu untuk berat badan 45 kg. Nilai MTI tersebut setara dengan ADI sekitar 3,05–6,98 kg/hari pada berat badan 60 kg serta 2,29–5,24 kg/hari pada berat badan 45 kg.

Meskipun hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konsumsi udang mantis masih tergolong aman, potensi risiko kesehatan tetap perlu diwaspadai dalam jangka panjang.

Paparan Zn dalam jumlah berlebih dapat menyebabkan gangguan kesehatan, mulai dari gangguan pencernaan hingga efek toksik sistemik (Herbila *et al.*, 2022). Temuan serupa juga dilaporkan dalam studi toksikologi lingkungan yang menunjukkan bahwa paparan kronis logam berat, meskipun dalam konsentrasi rendah, dapat menimbulkan efek subletal yang berdampak pada kesehatan manusia (Tchounwou *et al.*, 2021).

Implikasi dari penelitian ini tidak hanya terbatas pada aspek praktis, tetapi juga memberikan kontribusi dalam pengembangan kajian ekotoksikologi dan penilaian risiko pangan berbasis sumber daya pesisir. Pendekatan integratif yang digunakan dapat menjadi acuan bagi penelitian selanjutnya, khususnya dalam mengkaji akumulasi logam dan risiko kumulatif pada organisme perairan, yang saat ini menjadi fokus utama dalam penelitian lingkungan global (Ali *et al.*, 2023; Chen *et al.*, 2022).

Kesimpulan

Secara umum, penelitian ini menunjukkan bahwa kandungan logam berat Zn pada udang mantis yang didaratkan di kawasan Sungsang berada pada tingkat yang relatif rendah dan masih memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Nilai konsentrasi rata-rata Zn sebesar 20,70 mg/kg mengindikasikan bahwa udang mantis dari wilayah ini masih layak untuk dikonsumsi. Hasil perhitungan asupan menunjukkan bahwa batas maksimum konsumsi berdasarkan nilai MWI mencapai 406 mg/minggu, dengan nilai rata-rata MTI sebesar 19,62 kg/minggu dan ADI sebesar 2,80 kg/hari. Temuan ini memberikan gambaran awal mengenai tingkat paparan Zn melalui konsumsi udang mantis serta dapat menjadi dasar ilmiah dalam upaya pemantauan keamanan pangan dan pengelolaan sumber daya perikanan di kawasan Sungsang.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada masyarakat dan nelayan di kawasan Sungsang, Kabupaten Banyuasin, yang telah membantu dalam proses pengambilan sampel. Dukungan

dari berbagai pihak tersebut sangat berperan dalam terselesaikannya penelitian ini.

Referensi

- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2023). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals. *Chemosphere*, 307, 135545. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135545>
- Badan Standardisasi Nasional. (2014). *SNI 2354-13:2014 cara uji kimia: bagian 13 penentuan tembaga (Cu) dan seng (Zn) pada produk perikanan*. BSN.
- Chen, Q., Li, J., Liu, Z., & Wang, X. (2022). Bioaccumulation of heavy metals in marine organisms: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 174, 113234. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113234>
- Detmuliati, A., & Pratama, H. F. (2024). Pengaruh event pariwisata terhadap keputusan berkunjung di Desa Wisata Sungsang, Sumatera Selatan. *Jurnal Aplikasi Manajemen dan Bisnis*, 4(2), 50–63. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12754352>
- Emilia, I., Putri, Y. P., Jumingin, J., Rizal, S., & Rangga, R. (2022). Biokonsentrasi timbal dan kadmium terhadap *Penaeus merguensis* dalam air dan sedimen di perairan Desa Sungsang I. *Sainmatika*, 19(2), 215–227. <https://doi.org/10.31851/sainmatika.v19i2.9874>
- European Food Safety Authority. (2020). Risk assessment of heavy metals in food. *EFSA Journal*, 18(4), e06000. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6000>
- Food and Agriculture Organization/World Health Organization. (2004). *Summary of evaluations performed by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA 1956–2003)*. International Life Sciences Institute Press.
- Herbila, S., Syam, N., & Batara, A. S. (2022). Analisis konsentrasi logam berat seng (Zn) pada air, sedimen, dan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) di Kanal Kota

- Makassar. *Window of Public Health Journal*, 3(6), 1044–1053. <https://doi.org/10.33096/woph.v3i6.754>
- Islam, M. S., Ahmed, M. K., Raknuzzaman, M., & Habibullah-Al-Mamun, M. (2022). Heavy metal pollution in estuarine ecosystems: A review. *Science of the Total Environment*, 806, 150612. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150612>
- Juniardi, E., Sulistiono, S., Hariyadi, S., & Kamal, M. M. (2021). Heavy metal content of Pb and Cd in bandik grouper (*Cephalopholis boenak*) in Banten Bay, Indonesia. *Jurnal Biologi Tropis*, 21(3), 1047–1055. <https://doi.org/10.29303/jbt.v21i3.2830>
- Kalangie, D. J. M., Widowati, I., & Suprijanto, J. (2018). Kandungan seng (Zn) dalam air, sedimen, dan kerang darah (*Anadara granosa*) di Perairan Tambaklorok, Semarang. *Journal of Marine Research*, 7(1), 49–58. <https://doi.org/10.14710/jmr.v7i1.25887>
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2019). *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2019 tentang angka kecukupan gizi yang dianjurkan untuk masyarakat Indonesia*.
- Li, Y., Wang, Y., & Chen, L. (2023). Distribution and mobility of heavy metals in estuarine sediments. *Journal of Environmental Management*, 330, 117143. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117143>
- Liu, J., Zhang, H., & Wang, Z. (2022). Bioaccumulation and trophic transfer of heavy metals in aquatic organisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 234, 113382. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113382>
- Mentari, D. P., & Hasibuan, Z. H. (2025). Studi sosial ekonomi penggunaan alat tangkap di wilayah pesisir Sungsang: Dampaknya terhadap pendapatan dan kesejahteraan nelayan. *Journal of Marine Research*, 14(3), 645–652. <https://doi.org/10.14710/jmr.v14i3.53126>
- Nugraha, M. A., Pamungkas, A., Syari, I. A., Sari, S. P., Umroh, U., Hudatwi, M. A., & Priyambada, A. (2022). Penilaian pencemaran logam berat Cd, Pb, Cu, dan Zn pada sedimen permukaan Perairan Matras, Sungailiat, Bangka. *Jurnal Kelautan Tropis*, 25(1), 70–78. <https://doi.org/10.14710/jkt.v25i1.12317>
- Pertiwi, R. T. A. (2018). The content of lead, cadmium, cuprum, and zinc in anchovy (*Stolephorus* sp.) and white shrimps (*Penaeus merguensis*) in Kao Bay of North Halmahera. *Aquasains*, 6(2), 597–604. <https://doi.org/10.23960/aqs.v6i2.p597-604>
- Pratama, H., Nursanto, E., & Ernawati, R. (2021). Efektivitas kenaikan pH dan penurunan konsentrasi logam berat pada air asam tambang menggunakan fly ash sisa pembakaran batubara PLTU. *Jurnal Ilmiah Lingkungan Kebumihan*, 4(1), 27–33. <https://doi.org/10.31315/jilk.v4i1.6701>
- Putri, W. A. E., Purwiyanto, A. I. S., Meiyerani, J., Melki, M., Rozirwan, R., Barus, B. S., Diansyah, G., Haryati, A., & Suteja, Y. (2026). Logam berat nikel (Ni) dan seng (Zn) di Sungai Musi bagian hilir, Sumatera Selatan. *Indonesian Journal of Oceanography*, 8(1), 64–71. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v8i1.29900>
- Sejati, R. A. W., Hanum, G. R., & Pramushinta, I. A. K. (2022). Test of lead (Pb) and zinc (Zn) on tiger shrimp (*Penaeus monodon*) at Kalanganyar Market, Sidoarjo using atomic absorption spectrophotometer. *Medicra*, 5(1), 56–61. <https://doi.org/10.21070/medicra.v5i1.1624>
- Siahainenia, L., & Selanno, D. A. (2022). Performa dan karakter morfologis kepiting bakau yang terpapar logam berat di ekosistem mangrove Passo. *Triton*, 18(2), 149–157. <https://doi.org/10.30598/TRITONvol18issue2page149-157>
- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2021). Heavy metal toxicity and human health. *Environmental Toxicology*, 36(4), 564–578. <https://doi.org/10.1002/tox.23074>

- USEPA. (2019). *Risk assessment guidance for superfund (RAGS)*. United States Environmental Protection Agency.
- Wang, J., Liu, G., & Lu, Y. (2021). Heavy metal accumulation in crustaceans and associated health risks. *Environmental Research*, 201, 111530. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111530>
- Zhang, C., Yu, Z., Zeng, G., Jiang, M., Yang, Z., Cui, F., & Zhu, M. (2022). Effects of sediment properties on heavy metal bioavailability. *Science of the Total Environment*, 816, 151541. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151541>