

# LOGAM BERAT Pb, Cu, Zn DAN Ni DALAM AIR DI EKOSISTEM LAMUN PULAU PAHAWANG

## HEAVY METALS Pb, Cu, Zn AND Ni IN THE WATER OF THE SEAGRASS ECOSYSTEM, PAHAWANG ISLAND

Ariqoh Athallah Gusri<sup>1</sup>, Rozirwan<sup>2\*</sup>, Wike Ayu Eka Putri<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Pengelolaan Lingkungan, Program Pascasarjana, Universitas Sriwijaya  
Jl. Padang Selasa No. 524, Palembang 30139, Sumatera Selatan, Indonesia

<sup>2</sup>Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya  
Jl. Raya Palembang-Prabumulih Km. 32, Ogan Ilir 30862, Sumatera Selatan, Indonesia

Email: rozirwan@unsri.ac.id

### ABSTRAK

Logam berat dapat menyebabkan pencemaran lingkungan pesisir dan ekosistem yang ada di dalamnya termasuk ekosistem lamun. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsentrasi logam berat dalam air berdasarkan baku mutu yang aman untuk biota laut. Sampel air diambil dari dua lokasi yaitu Dusun Jeralangan dan Dusun Cukuh Nyai di Pulau Pahawang, Lampung, Indonesia. Parameter kualitas perairan diambil secara insitu. Logam berat yang dianalisis yaitu Pb, Cu, Ni dan Zn dengan metode destruksi basah dan diukur menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) SHIMADZU AA-7000. Konsentrasi logam berat tertinggi terdapat pada logam Zn (0,406 mg/L) di stasiun 2, sedangkan yang terendah pada logam Cu (0,019 mg/L) di stasiun 2. Konsentrasi logam berat Pb, Cu, Ni dan Zn dalam air telah melewati baku mutu untuk biota laut dan wisata bahari. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai acuan untuk perencanaan pengelolaan lingkungan pesisir Pulau Pahawang kedepannya.

**Kata kunci :** Baku mutu, Ekosistem lamun, Logam berat, Pencemaran.

### ABSTRACT

*In coastal environments and the ecosystems, including seagrass ecosystems, heavy metals can lead to pollution. This study goal is to analyze the concentration of heavy metals in water based on safety standards for marine organisms. Water samples were collected from two locations: Jeralangan HamLet and Cukuh Nyai HamLet in Pahawang Island, Lampung, Indonesia. Water quality parameters were measured in situ. Heavy metals such Pb, Cu, Ni, and Zn were prepared using Wet digestion method and the concentrations were measured using Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) SHIMADZU AA-7000. At the same location, the highest concentration of was observed for Zn 0.406 mg/L at station 2, while the lowest concentration was recorded for Cu 0.019 mg/L. The concentration of heavy metals Pb, Cu, Ni and Zn in water has exceeded the quality standards for marine biota and marine tourism. These research can be used as a basis for future planning in the management of Pahawang Island's coastal environment.*

**Keywords :** Quality standards, Seagrass ecosystem, Heavy metals, Pollution.

### PENDAHULUAN

Pahawang merupakan salah satu pulau yang dijadikan sebagai destinasi wisata bahari di Provinsi Lampung (Novita *et al.*, 2022). Pulau ini banyak dikunjungi wisatawan karena memiliki ekosistem yang beragam seperti ekosistem terumbu karang, lamun dan hutan mangrove (Mardani *et al.*, 2018). Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Pesawaran tahun 2020, kunjungan wisatawan ke Pulau Pahawang pada tahun 2019 yaitu

448.008 wisatawan dan tahun 2020 sekitar 165.342 wisatawan (BPS Statistik, 2023). Wisata bahari di Pulau Pahawang erat kaitannya dengan kegiatan lalu lintas perkapalan yang menjadi satu-satunya transportasi yang digunakan. Aktivitas kapal ini dapat menyebabkan masuknya bahan pencemar berupa logam berat (Moelyaningrum, 2017; Saraswati & Rachmadiarti, 2021; Swain *et al.*, 2021). Selain itu, logam berat dapat berasal dari alam yaitu bersumber dari pelapukan geologis, aktivitas vulkanik, dan

pengkristalan partikel logam berat di udara dengan bantuan air hujan (Sari et al., 2017; Suksmerri, 2008).

Logam berat merupakan suatu unsur dengan berat molekul tinggi yang dapat menyebabkan permasalahan lingkungan yang serius jika terakumulasi pada konsentrasi tertentu (C. Wang et al., 2022). Penelitian mengenai logam berat terus dilakukan karena logam berat bersifat persisten, bioakumulasi, non-biodegradasi, toksik terhadap lingkungan dan banyak ditemui dalam jumlah yang melimpah di lingkungan (de Souza Machado et al., 2016; Zhao et al., 2019; Truchet et al., 2021). Keberadaan logam berat dapat ditemukan diberbagai bagian lingkungan yaitu pada kolom air, partikel tersuspensi, sedimen dan juga biota (Niu et al., 2021). Polutan logam berat dapat memasuki rantai makanan sehingga sangat berbahaya untuk kesehatan manusia dan juga mengancam kelimpahan dan keanekaragaman biota yang ada di dalam lingkungan tersebut, proses peningkatan kandungan zat polutan pada organisme melalui rantai makanan ini disebut sebagai biomagnifikasi (Z. Wang et al., 2022).

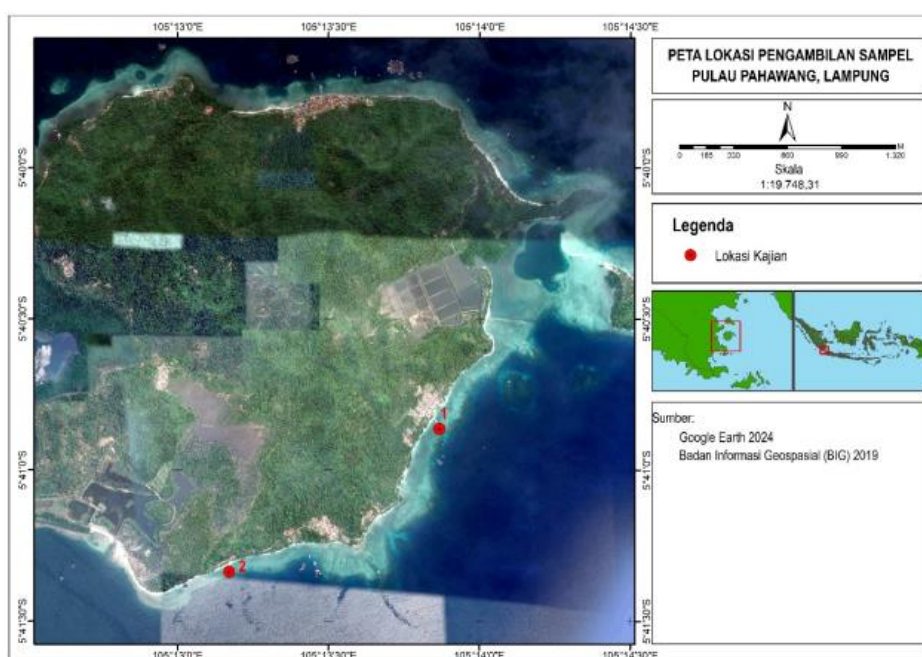
Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa logam berat dalam air telah melewati baku mutu untuk biota laut seperti di Teluk Lampung, Teluk Kendari, Muara Sungai Cisadene, dan Perairan Pelabuhan Tanjung Emas Semarang (Permata et al., 2018; Silalahi et al., 2023; Sulistyo et al., 2024; Wibowo et al., 2020). Oleh karena itu, pemantauan pencemaran lingkungan perairan akibat logam berat efektif dilakukan.

Hingga saat ini, belum ada penelitian yang mengukur konsentrasi logam berat dalam air untuk memantau pencemaran logam berat di Pulau Pahawang. Pulau Pahawang merupakan salah satu destinasi wisata terkenal di Indonesia dan juga terdapat ekosistem lamun. Oleh karena itu, penelitian ini dapat memberikan pemahaman mengenai konsentrasi logam berat dalam air, serta mengidentifikasi apakah telah melewati baku mutu yang aman untuk biota laut. Hasilnya dapat digunakan untuk merancang upaya pengelolaan wilayah pesisir dan ekosistem di lokasi tersebut di masa depan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsentrasi logam berat Pb, Cu, Ni, dan Zn dalam air di Pulau Pahawang berdasarkan baku mutu yang telah ditetapkan.

## METODE PENELITIAN

### Lokasi dan pengambilan sampel

Penelitian ini dilakukan pada ekosistem lamun di Pesisir Pulau Pahawang Lampung Indonesia. Pengambilan sampel untuk analisis logam berat dilakukan pada 2 titik stasiun pengamatan (Gambar 1). Penentuan titik sampling dilakukan secara *purposive sampling* dengan mempertimbangkan lokasi terdapatnya ekosistem lamun dan masukan limbah logam berat dan banyaknya aktivitas wisatawan yang berkunjung dan kegiatan pesisir lainnya. Stasiun 1 terdapat di Jeralangan yang mewakili daerah dengan aktivitas pesisir dan wisata yang tinggi. Stasiun 2 terdapat di Cukuh Nyai, dimana jarang terdapat aktivitas wisata.



### Gambar 1. Peta lokasi pengambilan sampel

#### Pengukuran parameter lingkungan

Parameter lingkungan diukur secara in-situ di lokasi penelitian menggunakan alat portable dengan 3 kali pengulangan. Parameter yang diukur yaitu pH, oksigen terlarut, suhu dan salinitas (Rozirwan et al., 2022).

#### Analisis logam berat

Sampel air diambil pada permukaan air sebanyak 500 mL menggunakan botol sampel, lalu dimasukkan ke dalam botol polietilen dan disimpan dalam coolbox. Sampel air diawetkan dengan menambahkan HNO<sub>3</sub> pekat hingga pH < 2 (Rizk et al., 2022). Sampel dibawa ke laboratorium dan dibersihkan dari benda-benda asing seperti plastik, daun, kayu dan bahan asing lainnya. Sampel air dilakukan proses destruksi dengan menambahkan HNO<sub>3</sub> pekat sebanyak 5 mL pada masing-masing sampel yakni 50 mL. Kemudian sampel dipanaskan hingga volumenya berubah menjadi ± 10 mL lalu angkat dan dinginkan. Setelah itu sampel destruksi disaring menggunakan kertas saring *Whatman* dan dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL serta tambahkan air suling sampai tanda tera (Badan Standarisasi Nasional 2009; Gao et al., 2021; Permata et al., 2018). Logam berat yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi logam Pb, Cu, Ni dan Zn. Pengujian konsentrasi logam berat pada sampel menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) SHIMADZU AA-7000.

#### Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan mengamati hasil pengukuran konsentrasi logam berat. Hasilnya akan disajikan dalam bentuk grafik dan dijelaskan secara deskriptif. Konsentrasi logam berat Pb, Cu, Zn dan Ni serta parameter kualitas perairan akan dibandingkan dengan standar baku mutu air laut untuk biota laut dan wisata bahari yang terdapat pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (Lampiran VIII-Baku Mutu Air Laut).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Parameter kualitas perairan

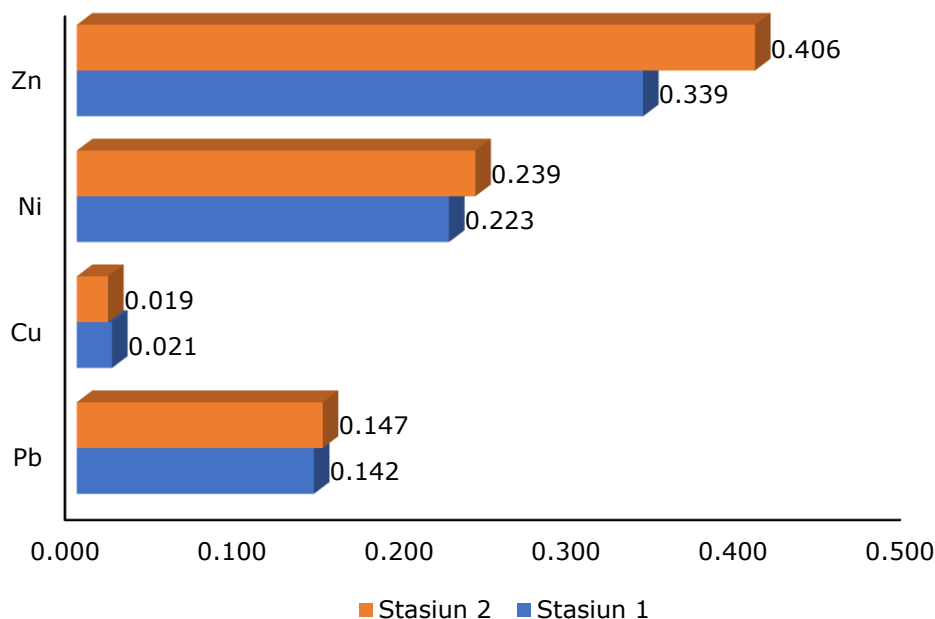
Hasil pengukuran parameter kualitas perairan menunjukkan nilai yang bervariasi setiap stasionnya (Tabel 1) hal ini dapat disebabkan oleh proses fisik dan kimia dalam badan air dan lingkungan sekitarnya (Rozirwan et al., 2021). Sebaran salinitas di

perairan ekosistem lamun Pulau Pahawang pada stasiun 1 sebesar 31,3 ppt dan stasiun 2 sebesar 32,2 ppt, nilai ini tidak terlalu berbeda dan dapat berubah-ubah disebabkan oleh kondisi alam yang bervariasi dalam sehari atau karena pengaruh musim (Sulistyo et al., 2024). Hasil pengukuran DO (*Dissolved Oxygen*) berada pada 7,2 mg/L dan 8,5 mg/L. Berdasarkan Peraturan Presiden Republik Indonesia (2021), kualitas perairan masih dikatakan normal apabila nilai DO >5 mg/L. Kisaran nilai DO yang bervariasi ini dapat terjadi karena menyesuaikan kondisi lingkungan perairan saat melakukan pengukuran.

Suhu lokasi penelitian sebesar 29,7°C dan 30,2°C, rentang ini berdasarkan Peraturan Pemerintah RI No. 22 Tahun 2021 termasuk rentang alami dan aman untuk wisata bahari dan biota laut. Suhu berpengaruh terhadap konsentrasi logam berat terlarut dengan mempengaruhi pembentukan ion logam berat. Peningkatan suhu dapat mengakibatkan tingkat akumulasi dan toksisitas logam berat meningkat karena senyawa logam dapat larut pada suhu yang tinggi, sedangkan semakin turun suhu mengakibatkan pengendapan logam berat di sedimen (Ishak et al., 2023). Berdasarkan hasil pengukuran nilai pH sebesar 7,5 dan 7,7, dan termasuk ke dalam kategori normal berdasarkan Peraturan Pemerintah RI No. 22 Tahun 2021 yaitu sebesar 7-8,5. Nilai pH yang rendah dalam air dapat menyebabkan logam lebih cepat larut sehingga meningkatkan efek toksik logam (Setiawan & Subiandono, 2015).

#### Konsentrasi logam berat di air laut

Hasil konsentrasi logam berat Pb, Cu, Zn dan Ni pada sampel air di kedua stasiun disajikan pada Gambar 2. Berdasarkan hasil penelitian konsentrasi logam berat dalam air untuk timbal (Pb) sebesar 0,142 mg/L dan 0,147 mg/L. Konsentrasi tertinggi terdapat pada stasiun 1 sebesar 0,147 mg/L, hal ini dapat disebabkan karena adanya aktivitas lalu lintas kapal baik untuk kegiatan wisata, nelayan dan transportasi penduduk lebih banyak pada stasiun 1 dibanding stasiun 2. Sumber logam Pb di daerah pesisir banyak disebabkan dari hasil sisa limbah bahan bakar yang digunakan untuk aktivitas perkapalan (Silalahi et al., 2023). Berdasarkan Peraturan Pemerintah RI No. 22 Tahun 2021 konsentrasi logam Pb dalam air di lokasi penelitian telah melewati baku mutu untuk wisata bahari dan biota laut yaitu 0,005 mg/L dan 0,008 mg/L yang artinya perairan tersebut tidak aman dan membahayakan biota yang ada di dalamnya.



**Gambar 2.** Konsentrasi logam berat Pb, Cu, Ni dan Zn di air (mg/L)

**Tabel 1.** Nilai parameter kualitas perairan

Parameter	Stasiun 1	Stasiun 2
Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )	30,2	29,7
Salinitas (ppt)	31,3	32,2
pH	7,7	7,5
DO (mg/L)	8,5	7,2

Konsentrasi logam Cu dalam air di kedua stasiun tidak terlalu berbeda jauh yaitu 0,021 mg/L pada stasiun 1 dan 0,019 mg/L pada stasiun 2. Konsentrasi logam Cu dalam air di lokasi penelitian merupakan konsentrasi terendah dibanding logam lainnya. Logam Cu yang merupakan logam esensial dibutuhkan oleh biota pada kadar tertentu, tetapi secara signifikan pada konsentrasi tinggi logam Cu bisa lebih beracun daripada logam non esensial (Pb dan Cd) karena mekanisme penyerapan aktif pada tubuh biota seperti pada tumbuhan (Shabbir *et al.*, 2020). Oleh karena itu, konsentrasi logam Cu lebih rendah dalam kolom perairan karena diserap oleh biota. Selain itu, kondisi ini juga dapat dipengaruhi oleh faktor fisik perairan seperti pola pergerakan arus dan pasang surut (Siregar *et al.*, 2020). Berdasarkan hasil penelitian, konsentrasi logam Cu telah melewati baku mutu untuk biota laut yaitu 0,008 mg/L, yang artinya lokasi penelitian dapat membahayakan biota laut yang hidup di dalamnya (Peraturan Presiden Republik Indonesia, 2021).

Sebaran konsentrasi logam Ni pada stasiun 1 dan 2 tidak terlalu berbeda yaitu sebesar 0,223 mg/L dan 0,239 mg/L. Konsentrasi ini telah melebihi baku mutu air laut untuk biota laut dan wisata bahari berdasarkan Peraturan Pemerintah RI No. 22 Tahun 2021 yaitu 0,05 mg/L dan 0,075 mg/L. Hal ini menunjukkan perairan pada lokasi penelitian telah tercemar dan berpotensi bersifat toksik pada biota yang hidup di dalamnya. Pencemaran perairan akibat logam Ni dapat terjadi akibat masuknya limbah dari aktivitas manusia, penggerusan batuan atau lapisan tanah, dan partikel yang masuk akibat dibawa oleh aliran air (Wali *et al.*, 2020). Penelitian mengenai konsentrasi logam berat Ni dalam air juga pernah dilakukan oleh Wibowo *et al.*, (2020), dimana mendapatkan konsentrasi Ni yang telah melebihi baku mutu di Perairan Teluk Kendari, Sulawesi Tenggara.

Berdasarkan hasil penelitian (Gambar 2) konsentrasi logam Zn dalam air merupakan yang tertinggi dibanding logam lain di lokasi penelitian yaitu sebesar 0,339 mg/L dan 0,406 mg/L. Konsentrasi ini telah melewati baku mutu yaitu 0,05 mg/L untuk biota laut dan 0,095 mg/L untuk wisata bahari, sehingga perairan tersebut telah tercemar dan membahayakan biota yang ada di dalamnya (Peraturan Presiden Republik Indonesia, 2021). Sumber logam Zn dapat berasal dari penyepuhan elektro, cat, bahan pewarna yang ada di badan kapal, dan pengaruh fisik seperti arus tidak terlalu banyak mempengaruhi konsentrasi logam berat Zn (Silalahi *et al.*,

2023). Selain itu, logam Zn juga dapat berasal dari bahan baku semen (Permata et al., 2018). Pencemaran logam berat dapat menyebabkan dampak pada penurunan kualitas lingkungan perairan terutama pada ekosistem yang terdampak, sehingga diperlukan adanya pencegahan dan pengelolaan yang dilakukan untuk meminimalisir tingkat pencemaran tersebut (Sulistyo et al., 2024). Oleh karena itu, ekosistem lamun dan ekosistem lainnya yang terdapat di Pulau Pahawang memerlukan pengelolaan yang efektif kedepannya.

## KESIMPULAN

Konsentrasi logam berat dalam air tertinggi terdapat pada logam Zn dan kemudian Ni, sedangkan yang terendah pada logam Cu. Konsentrasi logam berat Pb, Cu, Ni dan Zn dalam air di ekosistem lamun Pulau Pahawang telah melewati baku mutu dan berpotensi bersifat toksik pada biota laut. Kondisi ini memerlukan pengelolaan yang efektif untuk mencegah meningkatnya pencemaran di perairan Pulau Pahawang.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian untuk artikel ini didanai oleh kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia (Nomor 090/E5/PG.02.00.PL/2024).

## REFERENSI

- Badan Standarisasi Nasional. 2009. *SNI 6989.6:2009*. Bagian 6. Cara uji tembaga (Cu) secara spektrofotometri serapan atom (SSA) nyala pada air dan air limbah. *Badan Standardisasi Nasional*.
- BPS Statistik. 2023. Badan Pusat Statistik. Jumlah kunjungan wisatawan manca negara. *Badan Pusat Statistik*.
- Gao Y, Qiao Y, Xu Y, Zhu L, Feng. 2021. Assessment of the transfer of heavy metals in seawater, sediment, biota samples and determination the baseline tissue concentrations of metals in marine organisms. *Environmental Science and Pollution Research*. 28(22):28764–28776. doi: 10.1007/s11356-021-12650-1.
- Ishak NI, Mahmudah, Kasman, Ishak E, Effendy IJ, Fekri L. 2023. Analysis of heavy metal content in Martapura River Water, South Kalimantan Province in 2022. *Journal of Fishery Science and Innovation*. 7(1):35–41.
- Mardani A, Purwanti F, Rudiyananti S. 2018. Strategi pengembangan ekowisata berbasis masyarakat di Pulau Pahawang Propinsi Lampung. *Management of Aquatic Resources Journal*. 6(1):1–9. doi: 10.14710/marj.v6i1.19804.
- Moelyaningrum AD. 2017. Timah hitam (Pb) dan karies gigi. *Stomatognatic-Jurnal Kedokteran Gigi*. 13(1):28–31.
- Niu L, Li J, Luo X, Fu T, Chen O, Yang Q. 2021. Identification of heavy metal pollution in estuarine sediments under long-term reclamation: Ecological toxicity, sources and implications for estuary management. *Environmental Pollution*. 290:118126. doi: 10.1016/j.envpol.2021.118126.
- Novita S, Abidin Z, Kasymir E. 2022. Valuasi ekonomi dengan metode travel cost pada wisata taman keanekaragaman hayati Kabupaten Mesuji. *Jurnal Ilmu-Ilmu Agribisnis*. 10(2):217. doi: 10.23960/jiia.v10i2.6012.
- Peraturan Presiden Republik Indonesia. 2021. Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. P. 483 in *Sekretariat Negara Republik Indonesia*.
- Permata MAD, Purwiyanto AIS, Diansyah G. 2018. Kandungan logam berat Cu (tembaga) dan Pb (timbal) pada air dan sedimen di kawasan industri Teluk Lampung, Provinsi Lampung. *Journal of Tropical Marine Science*. 1(1):7–14. doi: 10.33019/jour.trop.mar.sci.v1i1.667.
- Rizk R, Juzsakova T, Ali MB, Rawash MA, Domokos E, Hedfi A, Almalki M, Boufahja F, Shafik HM, Rédey A. 2022. Comprehensive environmental assessment of heavy metal contamination of surface water, sediments and Nile Tilapia in Lake Nasser, Egypt. *Journal of King Saud University Science*. 34(1):101748. doi: 10.1016/j.jksus.2021.101748.
- Rozirwan, Fauziyah, Wulandari PI, Nugroho RY, Agutriani F, Agussalim A, Supriyadi F, Iskandar I. 2022. Assessment distribution of the phytoplankton community structure at the fishing ground, Banyuasin estuary, Indonesia. *Acta Ecologica Sinica*. 42(6):670–78. doi: 10.1016/j.chnaes.2022.02.006.
- Rozirwan, Melki, Apri R, Fauziyah, Agussalim A, Hartoni, Iskandar I. 2021. Assessment the macrobenthic diversity and community structure in the Musi Estuary, South Sumatra, Indonesia. *Acta Ecologica Sinica*. 41(4):346–50.
- Saraswati AR, Rachmadiarti F. 2021. Analisis kandungan logam berat timbal (Pb) pada rumput laut di Pantai Sendang Biru Malang. *LenteraBio: Berkala Ilmiah*

- Biologi*. 10(1):67–76. doi: 10.26740/len-terabio.v10n1.p67-76.
- Sari SHJ, Kirana JFA, Guntur G. 2017. Analisis kandungan logam berat Hg dan Cu terlarut di Perairan Pesisir Wonorejo, Pantai Timur Surabaya. *Jurnal Pendidikan Geografi*. 22(1):1–9. doi: 10.17977/UM017V22I12017P001.
- Setiawan H, Subiandono E. 2015. Konsentrasi logam berat pada air dan sedimen di perairan pesisir Provinsi Sulawesi Selatan. *Indonesian Forest Rehabilitation Journal*. 3(1):67–79. doi: 10.9868/IFRJ.3.1.67-79.
- Shabbir Z, Sardar A, Shabbir A, Abbas G, Shamshad S, Khalid S, Natasha, Murtaza G, Dumat C, Shahid M. 2020. Copper uptake, essentiality, toxicity, detoxification and risk assessment in soil-plant environment. *Chemosphere*. 259:127436. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127436.
- Silalahi FRW, Zainuri M, Wulandari SY. 2023. Studi kandungan logam berat timbal (Pb) dan Seng (Zn) di Perairan Muara Sungai Cisadane Kabupaten Tangerang. *Indonesian Journal of Oceanography*. 5(1):01–06. doi: 10.14710/ijoce.v5i1.14564.
- Siregar AS, Sulistyio I, Prayogo NA. 2020. Heavy metal contamination in water, sediments and *Planiliza subviridis* tissue in the Donan River, Indonesia. *Journal of Water and Land Development*. 45:157–64. doi: 10.24425/jwld.2020.133057.
- de Souza Machado AA, Spencer K, Kloas W, Toffolon M, Zarfl C. 2016. Metal fate and effects in estuaries: A review and conceptual model for better understanding of toxicity. *Science of The Total Environment*. 541:268–81. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.09.045.
- Suksmerri S. 2008. Dampak pencemaran logam timah hitam (Pb) terhadap kesehatan. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Andalas*. 2(2):200–202. doi: 10.24893/jkma.2.2.200-202.2008.
- Sulistyo AAH, Suprijanto J, Yulianto B. 2024. Analisis kualitas air dan kandungan logam berat timbal (Pb) pada air laut di Perairan Pelabuhan Tanjung Emas Kota Semarang Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*. 13(1):108–14. doi: 10.14710/jmr.v13i1.38751.
- Swain S, Pattanayak AA, Sahu BK, Satapathy DR, Panda CR. 2021. Time-series monitoring and ecological risk assessment of heavy metal pollution in Mahanadi estuary, east coast of India. *Regional Studies in Marine Science*. 47:101923. doi: 10.1016/j.rsma.2021.101923.
- Truchet DM, Buzzi NS, Negro CL, Mora MC, Marcovecchio JE. 2021. Integrative assessment of the ecological risk of heavy metals in a South American estuary under human pressures. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 208:111498. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.111498.
- Wali W, Emiyarti, Afu LOA. 2020. Kandungan logam berat nikel (Ni) pada sedimen dan air di perairan Desa Tapuemea Kabupaten Konawe Utara. *Sapa Laut*. 5(1):37–47. doi: <https://ojs.uho.ac.id/index.php/jsl>.
- Wang C, Ju J, Zhang H, Liu P, Zheng Q, Hu X. 2022. Disclosing the ecological implications of heavy metal disturbance on the microbial N-transformation process in the ocean tidal flushing urban estuary. *Ecological Indicators*. 144:109504. doi: 10.1016/j.ecolind.2022.109504.
- Wang Z, Lin K, Liu X. 2022. Distribution and pollution risk assessment of heavy metals in the surface sediment of the intertidal zones of the Yellow River Estuary, China. *Marine Pollution Bulletin*. 174:113286. doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.113286.
- Wibowo D, Basri, Adami A, Sumarlin, Rosdiana, Ndibale W, Ilham. 2020. Analisis logam nikel (Ni) dalam air laut dan persebarannya di Perairan Teluk Kendari, Sulawesi Tenggara. *Indo. J. Chem. Res*. 8(2):144–50. doi: 10.30598/ijcr.2020.8-dwi.
- Zhao M, Wang E, Xia P, Feng A, Chi Y, Sun Y. 2019. Distribution and pollution assessment of heavy metals in the intertidal zone environments of typical sea areas in China. *Marine Pollution Bulletin*. 138:397–406. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.11.050.