

Logam Berat Nikel (Ni) dan Seng (Zn) di Sungai Musi Bagian Hilir, Sumatera Selatan

Wike Ayu Eka Putri^{1*}, Anna Ida Sunaryo Purwiyanto¹, Jeni Meiyerani¹, Melki¹, Rozirwan¹,
Beta Susanto Barus¹, Gusti Diansyah¹, Ani Haryati², Yulianto Suteja³

¹Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya
Jl. Raya Palembang-Prabumulih Km 32, Indralaya, Ogan Ilir, Sumatera Selatan, Indonesia

²Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Jenderal Soedirman
Jl. Dr Soeparno, Komplek GOR Soesilo Soedarman, Karangwangkal, Karang Bawang, Grendeng, Kabupaten
Banyumas, Jawa Tengah, 53122 Indonesia

³Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Perikanan dan Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram
Jl. Pendidikan No. 37, Mataram, Nusa Tenggara Barat, 83125 Indonesia
Email: *wike_ayu_ep@unsri.ac.id

Abstrak

Logam berat merupakan salah satu komponen bahan pencemar yang umum dijumpai di perairan. Informasi tentang logam berat Nikel (Ni) dan Seng (Zn) di air dan sedimen Sungai Musi bagian hilir masih sangat terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan logam berat Ni dan Zn pada air dan sedimen yang dipengaruhi aktivitas antropogenik di Sungai Musi bagian hilir. Pengambilan sampel dilaksanakan pada bulan Maret, September dan November di sepanjang Sungai Musi Bagian Hilir yang dibagi menjadi 3 zona penelitian atau 11 stasiun. Sampel air dan sedimen dianalisa merujuk pada metode USEPA 30050B dan dianalisa menggunakan AAS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat dalam air berkisar antara 0,003-0,005 mg/L untuk logam Ni dan 0,002-0,017 mg/L untuk logam Zn. Adapun konsentrasi logam berat dalam sedimen ditemukan lebih tinggi yaitu 42,63-74 mg/Kg untuk logam Ni dan 10,33-20,56 mg/Kg untuk logam Zn. Secara keseluruhan konsentrasi logam berat Ni dan Zn dalam sampel air dan Zn dalam sedimen masih dibawah baku mutu, namun konsentrasi logam Ni dalam sampel sedimen telah melebihi baku mutu yang menjadi rujukan. Secara keseluruhan tidak terdapat perbedaan konsentrasi logam Ni maupun Zn baik pada sampel air maupun sampel sedimen antar 3 zona pengamatan.

Kata kunci : Logam berat esensial, Muara, Nikel, Seng, Zona aktivitas antropogenik

Abstract

Heavy Metals Nickel (Ni) and Zinc (Zn) in the Lower Musi River, South Sumatra

Heavy metals are one of the most common pollutants found in waterways. Information about nickel (Ni) and zinc (Zn) heavy metals in the water and sediments of the lower Musi River is still very limited. This study aims to determine the content of Ni and Zn heavy metals in water and sediments affected by anthropogenic activities in the lower Musi River. Sampling was carried out in March, September, and November along the lower Musi River, which was divided into 3 research zones or 11 stations. Water and sediment samples were analyzed using the USEPA 30050B method and analyzed using AAS. The results showed that the concentration of heavy metals in water ranged from 0.003-0.005 mg/L for Ni and 0.002-0.017 mg/L for Zn. The concentration of heavy metals in sediment was found to be higher, ranging from 42.63-74 mg/kg for Ni and 10.33-20.56 mg/kg for Zn. Overall, the concentrations of Ni and Zn heavy metals in water samples and Zn in sediment samples were still below the quality standards, but the concentration of Ni in sediment samples exceeded the reference quality standard. Overall, there were no differences in the concentrations of Ni and Zn in either water or sediment samples between the three observation zones.

Keywords: Essential heavy metals, Estuary, Nickel, Zinc, Anthropogenic activity zone

PENDAHULUAN

Logam berat adalah unsur logam yang memiliki berat jenis $\geq 5 \text{ g/cm}^3$ (Juharna *et al.*, 2022). Logam berat merupakan zat pencemar yang sangat berbahaya bagi sistem lingkungan hidup karena bersifat toksik (racun) dan tidak dapat terurai secara alami (dihancurkan oleh organisme hidup) sehingga nantinya berpotensi terakumulasi di lingkungan bahkan ke organisme (Siringoringo *et al.*, 2022; Wijayati dan Purwanti, 2022). Biota dapat mengakumulasi logam berat karena sifat logam yang mudah mengendap dan mudah

tertransportasikan (Juharna *et al.*, 2022). Logam berat banyak ditemukan di perairan yang berpotensi menimbulkan akibat negatif bagi kesehatan apabila kadarnya sudah melebihi ambang batas (Hanifah *et al.*, 2022). Keberadaan logam berat di perairan perlu mendapatkan perhatian serius karena logam berat berdampak buruk terhadap organisme perairan dan manusia. Selain itu, logam berat juga dapat mengalami biomagnifikasi sepanjang rantai makanan.

Sungai Musi adalah salah satu sungai besar yang terdapat di Provinsi Sumatera Selatan dan memiliki peranan penting bagi masyarakat sekitar. Bagian hilir Sungai Musi yang terhubung langsung ke Selat Bangka merupakan kawasan yang padat oleh berbagai macam aktifitas seperti pemukiman, industri, transportasi sungai dan laut serta pertanian dan perkebunan. Kondisi ini berdampak terhadap peningkatan beberapa jenis komponen logam berat. Beberapa hasil penelitian sebelumnya menemukan adanya akumulasi logam berat jenis tertentu baik dalam air, sedimen bahkan organisme yang hidup di Sungai Musi. Putri *et al.*, (2015) melaporkan bahwa ditemukan akumulasi logam Cu dan Pb dalam kolom air dan sedimen di sepanjang Sungai Musi bagian hilir. Konsentrasi Cu dalam kolom air berkisar 0,001—0,10 mg/L dan Pb 0,001-0,005 mg/L. Adapun akumulasi Cu dalam sedimen berkisar antara 2,3-16,4 mg/kg dan Pb 1,9-11,4 mg/kg. Demikian juga dengan hasil penelitian Putri *et al.*, (2016) bahwa logam Cu dan Pb juga terakumulasi dalam ikan seluang (*Rasbora* sp.) dan belanak (*Mugil chepalus*) (Putri *et al.*, 2016). Selanjutnya adalah logam Cd yang ditemukan kecil dari 0,001 mg/l pada sampel air dan pada sedimen berkisar antara 0,223-0,419 mg/kg. Konsentrasi rata-rata Cd pada organ hati, insang dan daging ikan Seluang adalah 0,117, 0,034 dan 0,021 mg/kg, ikan Juaro 0,059, 0,051 dan 0,027 mg/kg, ikan Belanak 0,096, 0,031 dan 0,025 mg/kg, ikan Sembilang 0,102, 0,046 dan 0,032 mg/kg (Putri *et al.*, 2024).

Logam Ni dan Zn tergolong kedalam logam esensial, walau dibutuhkan dalam jumlah sangat kecil namun keberadaannya sangat penting bagi organisme. Logam Ni merupakan kelompok logam transisi II dimana pada umumnya digunakan untuk industri pembuatan baterai nikel-kadmium, katalis, dan elektroplating (Kennish dan Michael, 2000), sehingga berpotensi mencemari lingkungan perairan. Adapun logam seng (Zn) memiliki massa atom 65,39 g/mol dengan titik lebur dan titik didih masing-masing sebesar sebesar 419,53 °C dan 907 °C. Seperti halnya logam Ni, defisiensi logam Zn dapat menyebabkan pertumbuhan akan terhambat. Meskipun berbagai penelitian mengenai pencemaran logam berat telah dilakukan di perairan Sungai Musi, kajian yang secara khusus membahas distribusi dan konsentrasi logam berat Ni dan Zn pada air dan sedimen yang dipengaruhi oleh aktivitas antropogenik di Sungai Musi bagian hilir masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan logam berat Ni dan Zn pada air dan sedimen yang dipengaruhi aktivitas antropogenik di Sungai Musi bagian hilir.

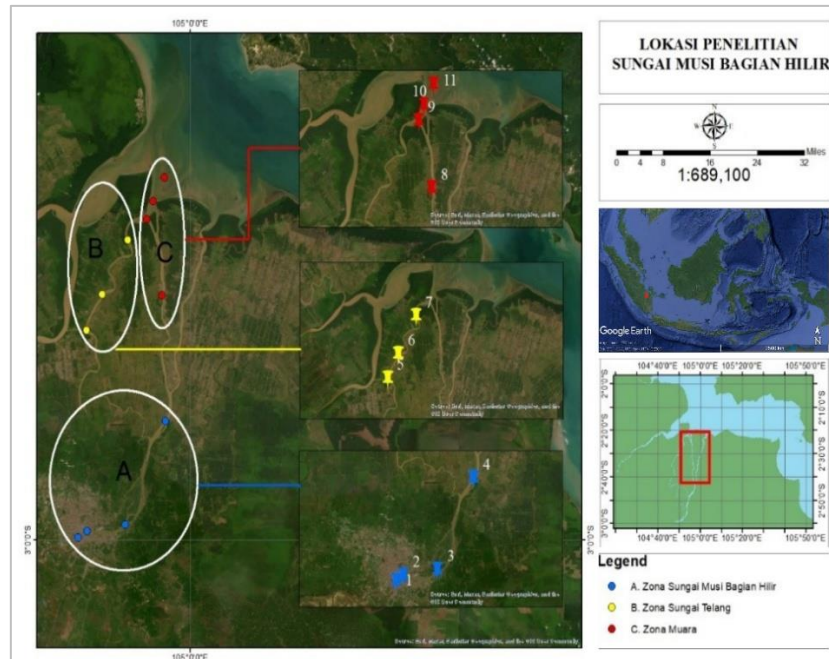
MATERI DAN METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan selama periode Maret, September dan November di sepanjang aliran Sungai Musi bagian hilir hingga kawasan muara. Lokasi penelitian dibagi menjadi 3 zona penelitian dan sebelas (11) stasiun pengambilan sampel (Gambar 1). Zona A (stasiun 1-4) terdapat di dalam Kota Palembang hingga daerah Upang, mewakili kawasan sungai yang padat aktivitas perkotaan. Zona B (stasiun 5-7) merupakan daerah Sungai Telang yang mewakili aktivitas penangkapan ikan, stockpile batu bara pemukiman. Adapun Zona C (8-11) merupakan daerah muara yang dipadati oleh aktivitas penduduk, penangkapan ikan dan transportasi kapal.

Metode Penelitian

Sampel air 1 L diambil pada kedalaman permukaan (± 60 cm) dan disaring menggunakan kertas saring membran selulosa Whatman 7184-004 (membran *Cicles*, *Cellulose* nitrat, *white plain* 0,45 μ m, diameter 47 mm). Fase terlarut disimpan dalam botol polyethylene dan diawetkan dengan HNO₃ pekat hingga pH < 2 (APHA/ AWWA/ WEF Standard Methods 20th ed. 1998; Dwantari dan Wiyantoko, 2019). Selanjutnya 250 mL fase terlarut tersebut dimasukkan dalam corong pisah teflon, kemudian diekstraksi dengan APDC/NaDDC/MIBK. Fase organik diekstraksi kembali dengan HNO₃ (*back extraction*) (Harmesa *et al.*, 2020). Sampel air dibiarkan selama 20 menit, kemudian ditambahkan 9,75 mL air suling lalu dikocok. Hasil ekstraksi dalam fase air diambil dan simpan dalam botol *polyethylene* untuk kemudian diukur menggunakan AAS.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel

Sebanyak 500 gr sampel sedimen diambil menggunakan ekman Grab. Perlakuan di laboratorium sedimen dimasukkan dalam *beaker teflon* dan dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam kemudian dihaluskan hingga homogen (Stewart *et al.*, 2021). Sebanyak satu gram sampel sedimen kering didestruksi dengan campuran larutan $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2\text{-HCl}$ pada suhu 95°C selama 6 jam (USEPA, 2006) untuk selanjutnya dianalisa dengan AAS. Kadar logam berat dalam sampel air dan sedimen ditentukan dengan AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*) jenis SpectrAA plus Varian dengan menggunakan *flame* campuran udara – asetilen. Konsentrasi logam berat yang didapat selama penelitian diplotkan kedalam program Excel untuk kemudian dibahas secara deskriptif.

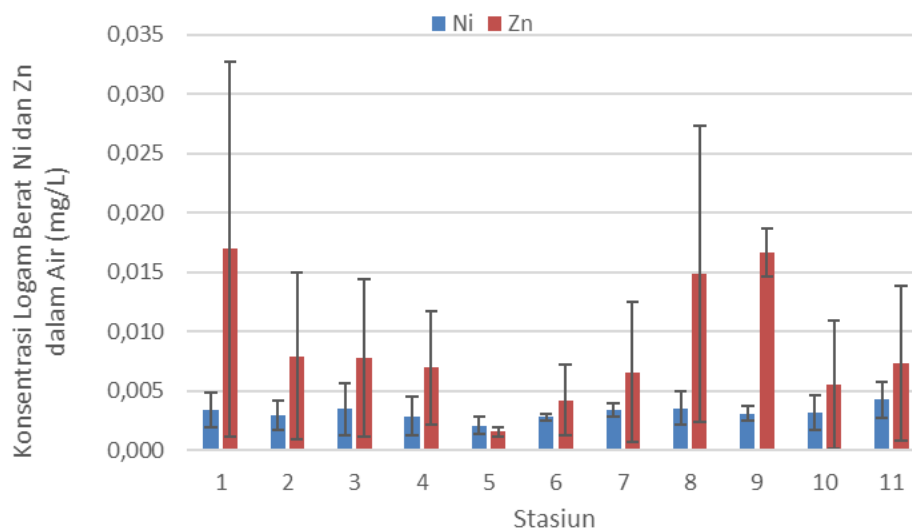
HASIL DAN PEMBAHASAN

Logam Ni dan Zn Terlarut Dalam Air

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi rata-rata logam Ni pada sampel air berkisar antara 0,003-0,005 mg/L. Konsentrasi tertinggi terdapat pada Stasiun 8 dan 11 dan terendah pada Stasiun 5. Adapun konsentrasi logam berat Zn berkisar 0,002-0,017 mg/L. Konsentrasi tertinggi terdapat pada Stasiun 9 dan terendah pada Stasiun 5 (Gambar 2). Logam Ni dan Zn ditemukan pada semua stasiun pengamatan dimana konsentrasi logam berat Zn umumnya ditemukan lebih tinggi dibandingkan logam Ni.

Konsentrasi Ni di lokasi penelitian lebih kecil dibandingkan hasil penelitian Wibowo *et al.*, (2020) di Teluk Kendari yang menemukan nikel di sepanjang pantai berkisar 0,047-0,073 mg/L dan tergolong tercemar ringan. Menurut Bidul dan Widowaty (2023) bahwa umumnya pencemaran lingkungan oleh nikel terjadi secara antropogenik akibat aktivitas pertambangan, peleburan, dan pemurnian logam nikel. Secara keseluruhan tidak terdapat perbedaan konsentrasi logam Ni antar zona pengamatan.

Konsentrasi Zn di perairan Sungai Musi bagian Hilir ini lebih rendah dibandingkan hasil penelitian Windusari *et al.*, (2015) yang menemukan konsentrasi Zn di aliran Sungai Musi yang melewati Kecamatan Seberang Ulu I, Kota Palembang berkisar 0,59-0,92 mg/L. Hal ini diduga karena lokasi penelitian tersebut dilakukan di dalam aliran Sungai Musi dan dekat dengan aktivitas warga sehingga keberadaan logam Zn yang diduga berasal dari korosi atap bangunan yang berbahan dasar seng lebih tinggi. Selain itu, Putra *et al.*, (2019) menyatakan bahwa beberapa buangan limbah rumah tangga yang mengandung logam berat seng seperti korosi pipa-pipa air dan produk-produk konsumen (misalnya, formula detergen) yang tidak diperhatikan sarana pembuangannya.



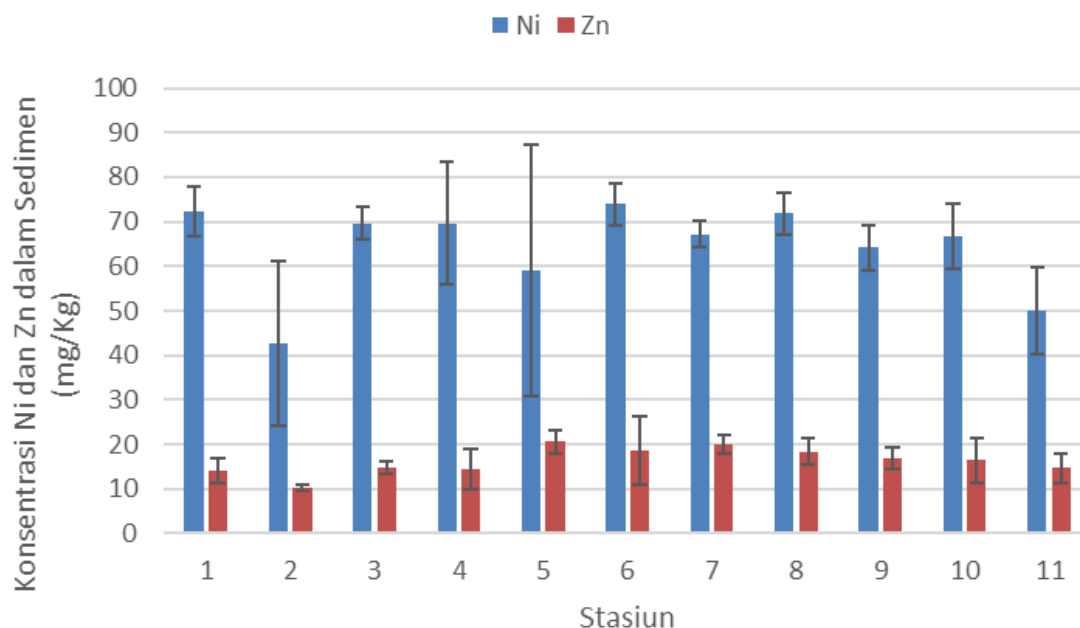
Gambar 2. Grafik Konsentrasi Logam Berat Ni dan Zn pada sampel air Sungai Musi Bagian Hilir

Gambar 2 memperlihatkan bahwa Zona B memiliki kandungan logam Zn yang lebih rendah dibandingkan Zona A dan C. Hal ini diduga karena Zona B merupakan daerah dengan aktivitas penduduk yang lebih rendah dibandingkan Zona A dan C sehingga masukan Zn yang sebagian berasal dari dari seng atau atap rumah warga juga lebih sedikit pada kawasan tersebut. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 51 Tahun 2004 menyatakan bahwa baku mutu Ni dan Zn yang diijinkan dalam perairan laut adalah 0,05 mg/L sehingga dapat disimpulkan bahwa konsentrasi Ni dan Zn di lokasi penelitian masih dibawah baku mutu yang diizinkan.

Logam Ni dan Zn Dalam Sedimen

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi rata-rata logam Ni pada sampel sedimen berkisar antara 42,63-74 mg/Kg (Gambar 4). Konsentrasi rata-rata tertinggi terdapat pada stasiun 6 dan terendah pada stasiun 2. Adapun untuk logam berat Zn secara keseluruhan terlihat bahwa konsentrasi Zn dalam sedimen lebih rendah dibandingkan logam Ni yaitu berkisar 10,33-20,56 mg/Kg, konsentrasi Zn tertinggi ditemukan pada stasiun 5 dan terendah pada stasiun 2.

Hasil penelitian Dani dan Budiawan (2015) menemukan konsentrasi Ni yang lebih kecil di Perairan Teluk Jakarta berkisar 26,316- 57,834 $\mu\text{g/g}$, demikian juga dengan Budiyanto dan Lestari (2017) yang menemukan Ni berkisar 13,7-75,8 mg/Kg juga di Teluk Jakarta. Sari *et al.*, (2016) menemukan konsentrasi Ni di Perairan Teluk Lampung berkisar 3,774 - 155,877 mg/Kg, demikian juga dengan Ahmad (2009) di Perairan Kabaena, Muna dan Buton berkisar 3,774 - 155,877 mg/Kg, Wali *et al.*, (2020) di Perairan Desa Tapuemea, Konawe Utara berkisar 0,76 - 9,72 mg/Kg dan Adidharma *et al.*, (2023) di Perairan Desa Tapuemea, Konawe Utara berkisar 0,76 - 9,72 mg/Kg. Adapun akumulasi yang lebih tinggi ditemukan pada penelitian Siregar dan Edward, (2010) di Perairan Dumai berkisar 215,4 - 237,18 mg/Kg serta penelitian Lestari *et al.*, (2024) di Perairan Desa Fatufia, Morowali Sulawesi Tengah berkisar antara 778,84 – 1563,56 $\mu\text{g/g}$. Lebih lanjut dijelaskan bahwa tingginya kadar nikel di Kawasan Desa Fatufia, Morowali Sulawesi Tenggara karena merupakan daerah yang mengandung unsur nikel tinggi, sehingga demikian juga dengan sedimen dasar perairannya. Selain itu, hasil erosi hasil kegiatan industri pertambangan yang masuk ke daerah perairan, kemudian terendap dan terakumulasi di dasar perairan pesisir juga menjadi alasan tingginya akumulasi nikel di daerah ini. Menurut Amelia *et al.*, 2025 peningkatan kadar nikel dalam air terjadi karena masuknya limbah yang mengandung nikel ke perairan. Tingginya konsentrasi logam Ni dalam lingkungan perairan dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti aktivitas manusia yang menghasilkan beberapa limbah rumah tangga, penggerusan batuan atau lapisan tanah serta beberapa partikel logam yang turun bersama aliran air (Sulaiman *et al.*, 2024; Wali *et al.*, 2020). Moore (1991) melaporkan bahwa kadar nikel pada kerak bumi sekitar 75 mg/kg dan sumber utama logam berat nikel ditemukan dalam bentuk koloid yang berasal dari pengikisan.



Gambar 3. Grafik Konsentrasi Logam Berat Ni dan Zn pada Sedimen Sungai Musi Bagian Hilir

Konsentrasi logam berat Zn dalam sedimen lebih rendah dibandingkan logam Ni yaitu berkisar 10,33-20,56 mg/Kg. Angka ini lebih kecil dibandingkan hasil penelitian lain terdahulu (Putri *et al.*, 2022) yang dilakukan di kawasan Muara Sungai Musi dimana konsentrasi logam Zn dalam sedimen berkisar 25,25-54,43 µg/g. Hal ini dapat disebabkan perbedaan dalam waktu pengambilan sampel, lokasi pengambilan sampel dan tipe sedimen yang berbeda. Hasil penelitian Susanti *et al.*, (2023) di sedimen perairan Pesisir Tanjung Gunung Pulau Bangka menemukan konsentrasi yang lebih kecil yaitu berkisar 0,66 – 4,36 mg/kg serta di Perairan Baturusa Sungai Liat, Bangka sebesar 7,69 – 46,18 mg/kg (Nugraha *et al.*, 2023).

Zn yang merupakan logam berat esensial dimanfaatkan dalam berbagai hal. Handayani *et al.*, 2023 menyatakan bahwa sumber logam berat Zn berasal dari produk konsumen serta penggunaan pupuk kimia yang mengandung logam berat Zn. Tingginya konsentrasi logam berat Zn diduga juga berasal dari atap rumah warga karena sebagian besar masyarakat sekitar kawasan menggunakan bahan seng sebagai atap rumah (Putri *et al.*, 2022). Hal ini didukung oleh pernyataan Wargadalem (2023) bahwa masyarakat Sungsang kebanyakan memiliki rumah yang berbentuk panggung memiliki dinding yang saling menempel, bahan rumah berasal dari kayu dan papan, serta atapnya menggunakan bahan seng. Korosi atap rumah yang mengandung seng dapat mengalir ke Muara Sungai Musi bersamaan dengan air hujan. Hal ini dapat berkontribusi meningkatkan konsentrasi Zn dalam sedimen (Putri *et al.*, 2022). Selain itu sumber lain logam berat Zn dapat berasal dari limbah penduduk seperti limbah detergen (Handayani *et al.*, 2023), adapun Supriyantini *et al.*, (2016) menyatakan bahwa sumber logam berat Zn dapat berasal dari aktivitas kapal dan aktivitas pariwisata. Santana *et al.*, (2018) menyatakan bahwa pengelupasan cat kapal akibat pengaruh arus dan gelombang dapat meningkatkan konsentrasi logam Zn di perairan. Penggunaan zat murni logam Zn pada badan kapal maupun pipa sebagai zat anti korosif juga mengakibatkan peningkatan logam berat Zn terlarut di perairan (Santosa *et al.*, 2022).

Sama halnya dengan logam Ni, konsentrasi logam berat Zn dalam sedimen juga jauh lebih tinggi dibandingkan konsentrasi Zn dalam perairan. Meskipun demikian, berbeda dengan di air dimana konsentrasi Zn lebih tinggi dibandingkan dengan Ni, kondisi sebaliknya terjadi pada sedimen dimana konsentrasi Ni dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan Zn. Konsentrasi Ni dalam sedimen di seluruh stasiun penelitian telah melewati baku mutu yang ditetapkan (ANZECC dan ARMCANZ, 2000) yaitu sebesar 21 mg/Kg. Kondisi ini berbeda dengan Zn dimana menurut *Canadian Council of Ministers for the Environment* (CCME, 2002) yang mengizinkan konsentrasi Zn dalam sedimen sebesar 123 mg/kg. Adapun NOAA (1999) menyatakan baku mutu Zn dalam sedimen adalah 150 mg/kg. Oleh sebab itu, dapat disimpulkan bahwa konsentrasi logam Zn di sedimen Sungai Musi bagian hilir masih dibawah baku mutu yang ditetapkan.

Tabel 1. Akumulasi Logam Ni pada Beberapa Perairan di Indonesia

Lokasi Penelitian	Konsentrasi Ni (mg/Kg)	Referensi
Teluk Jakarta	13,7 - 75,8	Budiyanto dan Lestari, 2017
Teluk Jakarta	26,316- 57,834	Dani dan Budiawan, 2015
Teluk Lampung	3,774 - 155,877	Sari <i>et al.</i> , 2016
Perairan Kota Dumai	215,4 - 237,18	Siregar dan Edward, 2010
Perairan Kabaena, Muna dan Buton	3,774 - 155,877	Ahmad, 2009
Perairan Desa Tapuemea, Konawe Utara	0,76 - 9,72	Wali <i>et al.</i> , 2020
Perairan Desa Tapuemea dan Tapunggaya	3,922 - 34,08	Adidharma <i>et al.</i> , 2023
Muara Sungai Kaligung Tegal	107,1 ppm – 112,1	Pratama <i>et al.</i> , 2021
Perairan Serangan, Bali	53,505	Indrawan dan Putra, 2021
Perairan Lowatag, Minahasa Tenggara	48 - 73	Patty <i>et al.</i> , 2018
Perairan Tuban, Jawa Timur	6,983	Syaifullah <i>et al.</i> , 2018
Perairan Gresik, Jawa Timur	5,873	Syaifullah <i>et al.</i> , 2018
Perairan Sampang, Jawa Timur	5,172	Syaifullah <i>et al.</i> , 2018
Perairan Tambak Lorok Semarang	69,51 – 403,45	Triantoro <i>et al.</i> , 2017

KESIMPULAN

Konsentrasi logam berat Ni dan Zn dalam air berturut-turut berkisar antara 0,003-0,005 mg/L dan 0,002-0,017 mg/L. Adapun konsentrasi logam berat dalam sedimen ditemukan jauh lebih tinggi baik pada logam Ni maupun Zn yaitu berturut-turut berkisar 42,63-74 mg/Kg dan 10,33-20,56 mg/Kg. Secara keseluruhan konsentrasi logam berat Ni dan Zn dalam sampel air dan Zn dalam sedimen masih dibawah baku mutu, namun konsentrasi logam Ni dalam sampel sedimen telah melebihi baku mutu yang menjadi rujukan. Secara keseluruhan tidak terdapat perbedaan konsentrasi logam Ni maupun Zn baik pada sampel air maupun sampel sedimen antar 3 zona pengamatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adidharma, M. A., Takarin, N. D., Supriatna, Emiyarti, & Pratikino, A. G. 2023. Sebaran dan Kontaminasi Logam Berat Nikel (Ni) Pada Sedimen di Pesisir Desa Tapuemea dan Tapunggaya, Kabupaten Konawe Utara. *Jurnal Kelautan Nasional*, 18(3): 233–242. <https://doi.org/10.15578/jkn.v18i3.13234>
- Ahmad, F. 2009. Tingkat Pencemaran Logam Berat Dalam Air Laut dan Sedimen di Perairan Pulau Muna, Kabaena, dan Buton Sulawesi Tenggara. *Makara Sains*, 13(2): 117–124.
- Amelia, F. R., Effendi, H., Kurniawan, B., Andrianto, C., & Ahmady, T. 2025. Analisis Kualitas Air dan Limbah Pertambangan Nikel di Sungai Pesouha, Sulawesi Tenggara. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan*, 9(1): 1–14. <https://doi.org/10.36813/jplb.9.1.1-14>
- ANZECC, & ARMCANZ. 2000. *Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality*.
- Atikah. 2021. Penyisihan Logam Dalam Limbah Cair Kerajinan Tenun Songket Dengan Metode Elektrokimia. *Jurnal Redoks*, 6(1): 17–25. <https://doi.org/10.31851/redoks.v6i1.5613>
- Bidul, S., & Widowaty, Y. 2023. Analisis Yuridis Dampak Pencemaran Lingkungan Pertambangan Mangan dan Nikel di Provinsi Maluku Utara. *JUSTISI*, 9(3): 412–426. <https://doi.org/10.33506/js.v9i3.2768>
- Budiyanto, F., & Lestari. 2017. Temporal and Spatial Distribution of Heavy Metal in Sediment of Urban Coastal Waters: A Case Study in Jakarta Bay, Indonesia. *Bulletin of the Marine Geology*, 32(1): 1–10. <https://doi.org/10.32693/bomg.32.1.2017.364>
- Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). 2002. *Canadian Environmental Quality Guidelines*. Winnipeg: Canadian Council of Ministers of the Environment.
- Dani, I. C., & Budiawan. 2015. Studi Pelepasan Kadmium (Cd) dan Nikel (Ni) pada Sedimen Secara Metode Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) dan Uji Sifat Bioakumulasinya Melalui Simulasi pada *Cyprinus carpio*. *Jurnal Sains Dasar*, 4(1): 55–64. <https://doi.org/10.21831/jsd.v4i1.8442>

- Handayani, C. O., Sukarjo, Zu'amah, H., & Dewi, T. 2023. Karakteristik Distribusi, Analisis Sumber, dan Penilaian Risiko Kesehatan dari Logam Berat di Lahan Pertanian Kota Batu, Jawa Timur. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 24(2): 166–175. <https://doi.org/10.55981/jtl.2023.291>
- Hanifah, H. N., Hadisoebroto, G., Cunayah, C., Alma, D., & Inayah, I. 2022. Perbandingan efektivitas cangkang telur ayam dan cangkang telur bebek sebagai bioadsorben logam Zn dengan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). *Jurnal Sabdariffarma*, 10(2): 1–11. <https://doi.org/10.53675/jsfar.v10i2.502>
- Harmesa, B., Lestari, & Budiyo, F. 2020. Distribusi Logam Berat Dalam Air Laut dan Sedimen di Perairan Cimanuk, Jawa Barat, Indonesia. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 5(1): 19–32. <https://doi.org/10.14203/oldi.2020.v5i1.310>
- Indrawan, G. S., & Putra, I. N. G. 2021. Konsentrasi Logam Berat (Pb, Cu, Cd, Zn) Pada Air dan Sedimen di Perairan Serangan, Bali. *Metamorfosa: Journal of Biological Sciences*, 8(1): 115–123. <https://doi.org/10.24843/metamorfosa.2021.v08.i01.p12>
- Juharna, F. M., Widowati, I., & Endrawati, H. 2022. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kromium (Cr) Pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Perairan Morosari, Sayung, Kabupaten Demak. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(2): 139–148. <https://doi.org/10.14710/buloma.v11i2.4161>
- Lestari, D. W., Umar, M. R., & Priosambodo, D. 2024. Analisis Kadar Nikel dan Besi Pada Sedimen Perairan Pesisir Desa Fatufia, Kecamatan Bahodopi, Kabupaten Morowali, Sulawesi Tengah. *BIOMA: Jurnal Biologi Makassar*, 9(1): 119–127.
- Moore, M. G. 1991. Editorial: Distance education theory. *The American Journal of Distance Education*, 5(3): 1–6. <https://doi.org/10.1080/08923649109526758>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. 1999. *Annual Report of the National Oceanic and Atmospheric Administration*. U.S. Department of Commerce.
- Nugraha, M. A., Pamungkas, A., Syari, I. A., Sari, S. P., Umroh, Hudatwi, M., Utami, E., Akhrianti, I., & 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>
- Patty, J. O., Siahaan, R., & Maabuat, P. V. 2018. Kehadiran Logam-Logam Berat (Pb, Cd, Cu, Zn) Pada Air dan Sedimen Sungai Lowatag, Minahasa Tenggara - Sulawesi Utara. *Jurnal Bioslogos*, 8(1): 15–20. <https://doi.org/10.35799/jbl.8.1.2018.20592>
- Pratama, R. A., Maslukah, L., & Atmodjo, W. 2021. Pola Sebaran Horisontal Logam Berat Timbal (Pb) dan Zeng (Zn) Pada Sedimen di Perairan Muara Sungai Kaligung Tegal. *Jurnal Kelautan*, 14(1): 11–19. <https://doi.org/10.21107/jk.v14i1.8481>
- Putri, W. A. E., Bengen, D. G., Prartono, T., & Riani, E. 2015. Konsentrasi Logam Berat (Cu dan Pb) di Sungai Musi Bagian Hilir. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 7(2): 453–463.
- Putri, W. A. E., Bengen, D. G., Prartono, T., & Riani, E. 2016. Accumulation of Heavy Metals (Cu and Pb) in Two Consumed Fishes from Musi River Estuary, South Sumatera. *Ilmu Kelautan*, 21(1): 45–52.
- Putri, W. A. E., Purwiyanto, A. I. S., Diansyah, G., Rozirwan, Fauziyah, Agustriani, F., Haryati, A., & Gusri, A. A. 2024. Logam Berat Cd di Sungai Musi Bagian Hilir, Sumatera Selatan. *Buletin Oseanografi Marina*, 13(1): 13–20. <https://doi.org/10.14710/buloma.v13i1.56751>
- Putri, W. A. E., Susanti, M. I., Rozirwan, Hendri, M., & Agustriani, F. 2022. Status Cemaran Logam Berat di Sedimen Muara Sungai Musi Sumatera Selatan. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(2): 177–184. <https://doi.org/10.14710/buloma.v11i2.39765>
- Santana, G. S., Costa, M. F., & Lacerda, L. D. 2018. Sources and Distribution of Trace Metals in Coastal and Estuarine Sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 126: 98–105. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.10.054>
- Santosa, D. A., Putri, S. M., & Wibowo, T. 2022. Analisis Kandungan Logam Berat Zn pada Badan Kapal dan Pengaruhnya Terhadap Kualitas Perairan Pelabuhan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(2): 145–154.
- Sari, F. G. T., Hidayat, D., & Septiani, D. 2016. Kajian Kandungan Logam Berat Mangan (Mn) dan Nikel (Ni) Pada Sedimen di Pesisir Teluk Lampung. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 1(1): 17–25.
- Siregar, Y. I., & Edward, J. 2010. Faktor Konsentrasi Pb, Cd, Cu, Ni, Zn Dalam Sedimen Perairan Pesisir Kota Dumai. *Maspuri Journal*, (1): 01–10.

- Siringoringo, V. T., Pringgenies, D., & Ambariyanto. 2022. Kajian Kandungan Logam Berat Merkuri (Hg), Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) pada *Perna viridis* di Kota Semarang. *Journal of Marine Research*, 11(3): 539–546. <https://doi.org/10.14710/jmr.v11i3.33864>
- Sulaiman, M., Sukri, A. S., & Fitriah. 2024. Analisis Tingkat Pencemaran Logam Berat Nikel (Ni) dan Seng (Zn) di Teluk Kendari. *Jurnal Media Konstruksi*, 9(3): 261–267. <https://doi.org/10.33772/medkons.v9i3.57>
- Supriyanti, E., Endrawati, H., & Riyono, S. H. 2016. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Seng (Zn) pada Air Laut dan Sedimen di Perairan Pantai Marina Semarang. *Buletin Oseanografi Marina*, 5(1): 27–35. <https://doi.org/10.14710/buloma.v5i1.11933>
- Susanti, S., Akhrianti, I., & Utami, E. 2023. Status Kontaminasi Logam Berat Zn Pada Sedimen di Perairan Pesisir Tanjung Gunung Bangka Tengah. *Juvenil*, 4(4): 311–321. <https://doi.org/10.21107/juvenil.v4i4.20835>
- Syaifullah, M., Candra, Y. A., Soegianto, A., & Irawan, B. 2018. Kandungan Logam Non Esensial (Pb, Cd dan Hg) dan Logam Esensial (Cu, Cr dan Zn) Pada Sedimen Di Perairan Tuban, Gresik dan Sampang Jawa Timur. *Jurnal Kelautan*, 11(1): 69–74. <https://doi.org/10.21107/jk.v11i1.4497>
- Triantoro, D. D., Suprpto, D., & Rudiyantri, S. 2017. Kadar Logam Berat Besi (Fe), Seng (Zn) Pada Sedimen dan Jaringan Lunak Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Perairan Tambak Lorok Semarang. *Journal of Maquares*, 6(3): 173–180. <https://doi.org/10.14710/marj.v6i3.20573>
- USEPA. 2006. EPA-842-B-06-003 Volunteer Estuary Monitoring Manual: A Methods Manual (Second Edition).
- Wali, W., Emiyarti, & Afu, L. O. A. 2020. Kandungan Logam Berat Nikel (Ni) Pada Sedimen dan Air di Perairan Desa Tapuemea Kabupaten Konawe Utara. *Sapa Laut*, 5(1): 37–47. <https://doi.org/10.33772/jsl.v5i1.10952>
- Wargadalem, F. R. 2023. Posisi Sungsang Dalam Krisis Perpolitikan di Kesultanan Palembang Awal Abad 19. *JPPPI (Jurnal Penelitian Pendidikan Indonesia)*, 9(3): 1705–1712. <https://doi.org/10.29210/0202312298>
- Wijayati, W. I., & Purwanti, I. F. 2022. Kajian Remediasi Tanah Terkontaminasi Logam Berat Timbal di Desa Pesarean, Kabupaten Tegal dengan Stabilisasi/Solidifikasi. *Jurnal Teknik ITS*, 11(2): 28–33. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v11i2.83122>
- Windusari, Y., & Sari, N. P. 2015. Kualitas Perairan Sungai Musi di Kota Palembang Sumatera Selatan. *Bioeksperimen*, 1(1): 1–5. <https://doi.org/10.23917/bioeksperimen.v1i1.309>