

Cadmium (Cd) Content in Sediments Along the Somber River, Balikpapan City, East Kalimantan

Fitriatul Mufidah¹, Mohammad Sumiran Paputungan¹, Irwan Ramadhan Ritonga^{1,2*}

¹Department of Marine Science, Mulawarman University, East Kalimantan, Indonesia

²Integrated Laboratory, Mulawarman University, East Kalimantan, Indonesia

Article History

Received : December 03th, 2025

Revised : December 20th, 2025

Accepted : December 23th, 2025

*Corresponding Author: **Irwan Ramadhan Ritonga**, Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia;
Email: ritonga_irwan@unmul.ac.id

Abstract: Human activities in the Somber River area of Balikpapan, such as settlements, industry, shipping, and fisheries, have the potential to cause cadmium (Cd) contamination, threatening the mangrove ecosystem and aquatic biota. This study aimed to determine the concentration and contamination level of Cd in the sediments of the Somber River, Balikpapan. Sediment samples were systematically collected from four stations representing different anthropogenic influences, using a hand corer (50 cm depth). Cadmium concentration was analyzed using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) following acid digestion. It was found that the Cd concentrations ranged from 0.04 to 1.01 µg/g, with an average of 0.37 ± 0.29 µg/g dry weight. All values were below the national sediment quality guideline. The accumulation of Cd showed an increasing trend with greater sediment depth. The calculated Contamination Factor (CF) indicated low to moderate contamination levels at all stations. Overall, the sources of Cd along the Somber River originate from both natural processes and anthropogenic activities from the land.

Keywords: Cadmium, heavy metals, mangrove, sediment.

Pendahuluan

Salah satu negara kepulauan terbesar di dunia, kawasan pesisir Indonesia merupakan pusat pertumbuhan berbagai aktivitas ekonomi, sehingga berpotensi menimbulkan tekanan lingkungan (Sukaryono & Dewa, 2018). Salah satu kawasan yang mengalami tekanan ini adalah Sungai Somber di Balikpapan, yang intensif dimanfaatkan untuk berbagai aktivitas antropogenik seperti pemukiman, transportasi, perkapalan, industri, hingga perikanan dan pertanian (Syafira *et al.*, 2023; Wulandari *et al.*, 2020). Beragamnya aktivitas ini berpotensi mencemari perairan dengan logam berat, termasuk kadmium atau Cd (Chen *et al.*, 2025; Wulandari *et al.*, 2020).

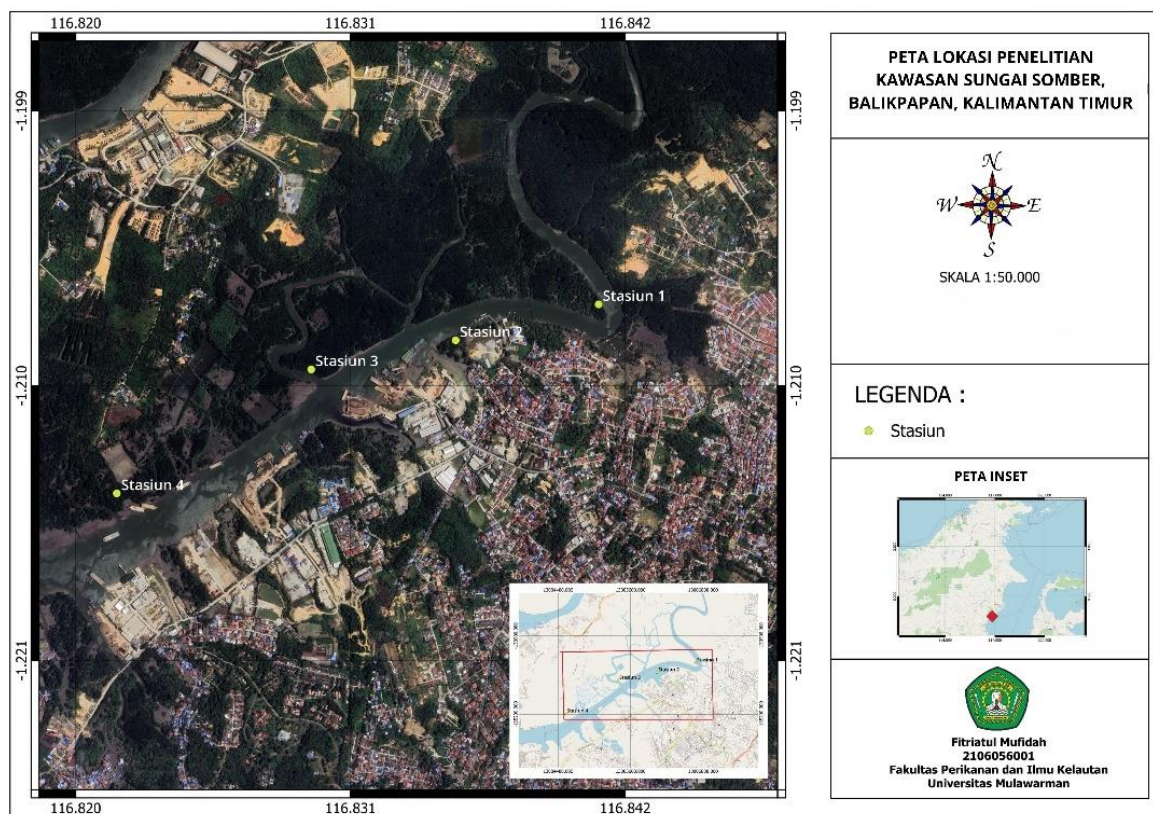
Kadmium (Cd) merupakan polutan berbahaya karena bersifat persisten, mudah terakumulasi dalam rantai makanan, dan dapat menyebabkan berbagai gangguan kesehatan

biota dan juga manusia seperti kanker payudara, paru-paru, prostat, nasofaring, pankreas, dan ginjal (Genchi *et al.*, 2020; Hasimuna *et al.*, 2021). Peningkatannya sangat dipicu oleh aktivitas manusia dan mengancam ekosistem pesisir, sehingga diperlukan investigasi (Ashar *et al.*, 2025; Dey *et al.*, 2021; Fernandes *et al.*, 2025).

Meskipun penelitian mengenai logam berat di perairan Kalimantan Timur telah dilakukan, seperti konsentrasi Cd di Muara Sungai Manggar, kota Balikpapan yang melebihi nilai baku mutu (Dewi *et al.*, 2018) Sementara itu, Syafira *et al.*, (2023) mengkonfirmasi bahwa konsentrasi Pb pada sedimen di kawasan mangrove Center Graha Indah Area Balikpapan masih jauh di bawah standar baku mutu. Namun, informasi mengenai konsentrasi Cd di sepanjang sungai Somber Balikpapan masih sangat minim. Oleh karena itu, penelitian ini perlu dilakukan untuk

mengetahui konsentrasi Cd dan tingkat pencemaran Cd pada sedimen berdasarkan

konsentrasinya di sepanjang sungai Sumber, Kota Balikpapan.



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel Sedimen

Bahan dan Metode

Waktu dan Lokasi Pengambilan Sampel

Lokasi pengambilan sampel sedimen dilakukan di kawasan Sungai Sumber, Balikpapan, Kalimantan Timur pada bulan November 2024 (Gambar 1).

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah kamera ponsel, *Global Positioning System (GPS)*, pipa, gerinda tangan, alat tulis, plastik klip, sendok, kuas, pinset, aluminium foil, *mortar and pestle*, timbangan analitik (ALJ 220-4), pipet, labu ukur, tabung Erlenmeyer, gelas beaker, oven (*Thermo Scientific*) *hot plate*, botol kaca, tabung reaksi, alat filtrasi dan *Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)* *Thermo Scientific Ice 3000 Series*. Sedangkan bahan penelitian yang digunakan di penelitian ini adalah sedimen mangrove sebagai bahan uji,

akuades, kertas *Whatman no 41*, asam nitrat (HNO_3) 65%, hydrogen peroksida (H_2O_2), asam klorida (HCl) 37%, dan larutan standar Cadmium (Cd) 1000 ppm masing – masing dari Merck, Canada.

Prosedur Penelitian

Jenis logam yang diteliti di penelitian ini adalah kadmium (Cd) di dalam sedimen. Metode penelitian yang digunakan untuk mengetahui konsentrasi Cd di dalam sedimen tersebut menggunakan survei dengan teknik *purposive sampling* dalam pemilihan lokasi sampling. Teknik ini dipilih berdasarkan pertimbangan khusus yang relevan dengan tujuan penelitian. Menurut Lenaini (2021), titik sampling sedimen ditentukan dengan mempertimbangkan variasi sumber pencemar potensial, seperti jarak dari pemukiman, aktivitas perkapalan, kawasan tambak, dan muara sungai. Hal ini bertujuan untuk

mencakup variasi kondisi lingkungan yang mungkin menerima masukan logam Cd.

Pengambilan Sampel Sedimen

Pengambilan sampel sedimen di penelitian ini mengacu pada metode yang dilakukan Syafira *et al.*, (2023) yang telah dimodifikasi, yakni sampel sedimen diambil dengan pipa PVC (100 cm) yang ditancapkan tegak lurus hingga kedalaman 50 cm di 4 stasiun sampling. Setelahnya, kedua ujung pipa langsung ditutup untuk mencegah kontaminasi. Total sampel sedimen di penelitian ini adalah 4 sampel dari lokasi sampling yang berbeda. Semua sampel sedimen dibawa ke Integrated Laboratory dan Laboratorium Kualitas Air FPIK Universitas Mulawarman untuk dianalisis lebih lanjut. Preparasi sampel sedimen dilaksanakan keesokan harinya. Pipa dipotong dengan gerinda, lalu dibedakan berdasarkan tiga lapisan: permukaan (0–10 cm), tengah (10–20 cm), dan dalam (20–50 cm) menggunakan pisau *stainless steel*. Setiap sub-sampel sedimen dari tiap lapisan dimasukkan ke dalam kantong plastik yang telah diberi kode identifikasi untuk analisis lebih lanjut.

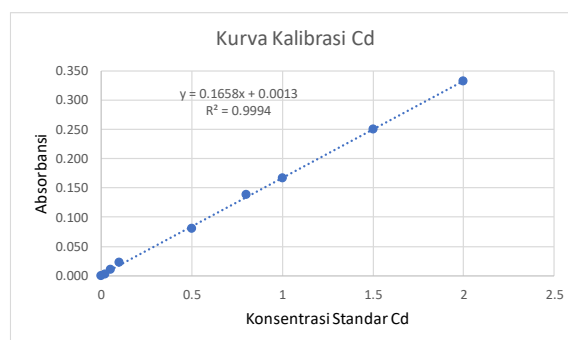
Analisis Laboratorium

Preparasi sampel sedimen diawali dengan pengeringan menggunakan oven pada 60°C selama ± 72 jam (Syafira *et al.*, 2023). Sampel kering kemudian dihaluskan dengan mortar dan pestle, lalu dikodekan sesuai kedalaman sebelum destruksi. Destruksi sampel sedimen mengacu pada modifikasi metode (Kristiana *et al.*, 2020). Sebanyak ± 1 g sampel ditimbang dan dimasukkan ke tabung *Erlenmeyer*, ditambah 10 mL HNO_3 1:1, lalu dihomogenkan. Campuran dipanaskan pada *hotplate* 90 °C selama 15 menit, kemudian ditambah 5 mL HNO_3 pekat setiap 2 jam hingga larutan jernih. Setelah jernih, ditambahkan 3 mL akuades dan 2 mL H_2O_2 , lalu dipanaskan kembali dengan penambahan 1 mL H_2O_2 setiap 15 menit. Jika masih terbusa, ditambahkan 10 mL HCl pekat dan dipanaskan 2 jam. Larutan hasil destruksi disaring menggunakan kertas saring Whatman no. 41 dan ditampung dalam botol uji. Analisis konsentrasi Cd dilakukan dengan *Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)* seri *Thermo Scientific ICE 3000* pada panjang gelombang 228,8 nm. Hasil konsentrasi

dilaporkan dalam satuan $\mu\text{g/g}$ berat kering (*dry weight*).

Kurva kalibrasi Standar Cd

Larutan standar Cd dibuat dengan konsentrasi 0 hingga 2 mg/L dari pengenceran larutan stok 1000 ppm. Berdasarkan pengukuran absorbansi, diperoleh kurva kalibrasi dengan persamaan regresi linier $y = 0,1658x + 0,0013$ dan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9994. Nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan hubungan linier yang sangat baik antara konsentrasi dan absorbansi, mengindikasikan kurva kalibrasi yang sangat baik (Andini *et al.*, 2024). Hasil analisis AAS juga menemukan bahwa nilai % *recovery* dari Cd di penelitian ini berkisar 92,42 – 105,5 %. Temuan ini mengindikasikan bahwa metode destruksi dan analisis sampel Cd yang digunakan di penelitian ini cukup akurat.



Gambar 2. Kurva Kalibrasi Standar Cd

Analisis Data

Analisis data dilakukan secara deskriptif setelah pengolahan dengan perangkat lunak *Microsoft Office Excel*. Hasil analisis konsentrasi Cd yang disajikan dalam tabel dan grafik kemudian dibandingkan dengan pedoman kualitas sedimen ANZECC/ARMCANZ (2000). Berdasarkan pedoman tersebut, sedimen dikategorikan tercemar jika konsentrasi Cd yang terukur melebihi nilai ambang batas yang berlaku, yaitu 1,5 $\mu\text{g/g}$.

Faktor Kontaminasi

Rumus yang digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran Cd berdasarkan konsentrasi yang terdeteksi pada sedimen (Hakanson, 1980), sebagai berikut:

$$CF = \frac{C_1}{C_2} \quad (1)$$

Dimana C_1 adalah konsentrasi logam Cd hasil analisis ($\mu\text{g/g}$) dan C_2 adalah konsentrasi logam Cd di sedimen ($1,1 \mu\text{g/g}$) (Persaud *et al.*, 1993). Berdasarkan Hakanson (1980), kriteria faktor kontaminasi sedimen di penelitian ini adalah kontaminasi rendah ($CF < 1$); sedang ($1 < CF < 3$); cukup ($3 < CF < 6$) dan sangat tinggi ($CF > 6$).

Hasil dan Pembahasan

Konsentrasi Cd di Sedimen

Hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh bahwa konsentrasi Cd terendah ($0,04 \mu\text{g/g}$) dan tertinggi ($1,01 \mu\text{g/g}$) terdapat di stasiun 1 dan 2 (Tabel 1). Nilai rerata Cd di penelitian ini adalah $0,37 \pm 0,29 \mu\text{g/g}$.

Tabel 1. Konsentrasi Cd di dalam Sedimen dari Sungai Sember, Kota Balikpapan.

Kedalaman (cm)	Stasiun			
	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3	Stasiun 4
0-10	0,04	0,70	0,07	0,10
10-20	0,30	0,41	0,10	0,69
20-30	0,09	0,44	0,08	0,30
30-40	0,30	0,43	0,96	0,10
40-50	0,44	0,47	1,01	0,38
Minimum	0,04	0,41	0,07	0,10
Maksimum	0,44	0,70	1,01	0,69
Rata - rata	0,23	0,49	0,44	0,31
std*	0,17	0,12	0,49	0,24

*Std adalah standard deviasi

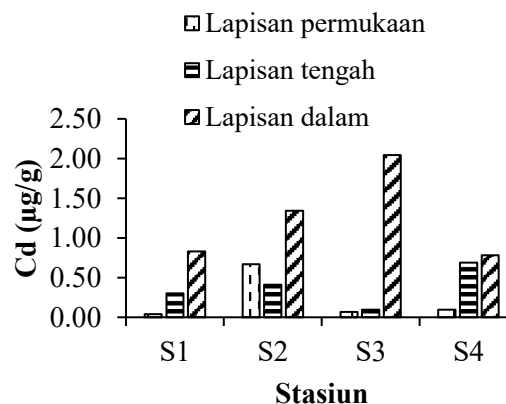
Secara umum, konsentrasi Cd di penelitian jauh lebih rendah dibanding Cd yang ditemukan oleh Dewi *et al.*, (2018) di sekitar Sungai Manggar ($4,59 \pm 0,10 \mu\text{g/g}$) dan juga Sitorus *et al.*, (2020) di Teluk Balikpapan ($2,53 \pm 0,09 \mu\text{g/g}$). Kemudian, nilai Cd di dalam sedimen dari Sungai Sember ini masih lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai baku mutu yang telah ditetapkan oleh (ANZECC/ARMCANZ., 2000) sebesar $1,5 \mu\text{g/g}$. Karenanya, temuan ini mengindikasikan bahwa konsentrasi Cd di dalam sedimen mungkin tidak memberikan efek toksik yang serius terhadap organisme perairan di sepanjang Sungai Sember.

Berdasarkan nilainya, tingginya Cd di

stasiun 2 ($0,49 \pm 0,12 \mu\text{g/g}$) mungkin lebih disebabkan oleh lokasi stasiun 2 yang relatif dekat dengan kawasan pemukiman dan beberapa aktivitas manusia seperti pelabuhan bongkar muat kapal barang dan transportasi, dan juga perbengkelan. Akibatnya, limbah yang mengandung berbagai zat pencemar khususnya Cd dari beberapa aktifitas tersebut dapat terbuang secara langsung maupun tidak langsung terdistribusi ke perairan dan mengendap di dasar Sungai Sember. Menurut Mardani *et al.*, (2018), bahwa limbah rumah tangga seperti barang elektronik, baterai bekas, cat serta aliran yang berasal dari perkotaan dapat menjadi penyumbang terbesar Cd ke dalam perairan dan memungkinkan terjadinya akumulasi di wilayah sekitarnya.

Konsentrasi Cd Berdasarkan Kedalaman

Konsentrasi Cd pada sedimen di penelitian ini diklasifikasikan ke dalam tiga lapisan kedalaman secara vertikal, yakni permukaan (0-10 cm), tengah (10-20 cm), dan dalam (20-50 cm) (Hasan *et al.*, 2023). Hasil analisis menemukan bahwa konsentrasi Cd tertinggi terdapat pada lapisan dalam di Stasiun 3 ($2,04 \mu\text{g/g}$), sedangkan konsentrasi terendah pada lapisan permukaan Stasiun 1 ($0,04 \mu\text{g/g}$) (Gambar 3).



Gambar 3. Konsentrasi Cd Secara Vertikal di Sedimen Sungai Sember, Kota Balikpapan.

Rendahnya Cd pada lapisan permukaan (0-10 cm) di stasiun 1 kemungkinan besar disebabkan oleh laju akumulasi sedimen yang rendah di lokasi sampling. Temuan ini mengindikasikan bahwa bahan pencemar yang mengandung Cd yang masuk dan terakumulasi

di dalam sedimen di lapisan permukaan relatif sedikit. Pada dasarnya laju akumulasi sedimen yang tinggi dapat berperan dalam meningkatkan akumulasi Cd dari daerah yang tercemar logam. Namun, jika sedimen berasal dari daerah yang minim cemaran logam, laju akumulasi sedimen yang tinggi tidak selalu menyebabkan tingginya Cd (Maria *et al.*, 2023; Noor *et al.*, 2021).

Disisi yang lain, tingginya konsentrasi Cd di stasiun 3 (lapisan dalam) kemungkinan disebabkan oleh lokasi ini relatif berdekatan dengan aktivitas perkapalan dan pemukiman dibandingkan stasiun lainnya. Menurut (Putri *et al.*, 2016) dok kapal yang biasanya digunakan untuk kegiatan pengecatan kapal dan perbaikan kapal dan aktivitas manusia seperti limbah yang berasal dari area pemukiman diduga berpotensi menjadi sumber pencemar berbahaya berupa Cd.

Berdasarkan konsentrasi Cd secara vertikal, ditemukan bahwa akumulasi Cd mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya kedalaman sedimen. Hal ini mengindikasikan bahwa proses pencemaran dan akumulasi Cd telah mengalami perubahan oleh aktifitas manusia di lokasi sampling. Adanya

fenomena peningkatan konsentrasi Cd ke arah lapisan yang lebih dalam mengindikasikan sedimen berumur lebih tua di lapisan dasar telah mengalami akumulasi pencemaran dalam waktu yang lebih panjang berdasarkan Syahminan *et al.*, (2015). Selain itu, adanya faktor lain seperti musim, pasang surut, pH, karbon organik, kondisi reduksi dan oksidasi perairan dan sedimen juga dapat mempengaruhi proses akumulasi Cd di kolom sedimen (Anggraeni *et al.*, 2024; Gopal *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2019).

Faktor Kontaminasi (CF)

Hasil analisis faktor kontaminasi (CF) pada Cd di sedimen menemukan bahwa nilai CF berkisar 0,04 – 1,86 dengan rata-rata $0,56 \pm 0,55$ (Tabel 1). Jika dibandingkan, nilai CF di penelitian ini lebih tinggi dibanding hasil investigasi CF (0,0085 – 0,0810) yang dilakukan oleh Noor *et al.*, (2021) di pesisir kota Makassar. Disisi lain nilai CF di penelitian ini relatif lebih rendah dibanding nilai CF (0,43 – 1,90) dari Cd dari estuari Baturusa, Pangkal Pinang (Huzairiah *et al.*, 2022).

Tabel 2. Nilai Faktor Kontaminasi (CF) dan Tingkat Kontaminasi Sedimen di Kawasan Sungai Sumber, Kota Balikpapan

Stasiun		Kedalaman (cm)	CF	Tingkat Kontaminasi
1	Permukaan	0-10	0,04	Kontaminasi rendah
	Tengah	10-20	0,28	Kontaminasi rendah
	Dalam	20-50	0,75	Kontaminasi rendah
	Rerata	$0,36 \pm 0,37$		Kontaminasi rendah
2	Permukaan	0-10	0,61	Kontaminasi rendah
	Tengah	10-20	0,37	Kontaminasi rendah
	Dalam	20-50	1,22	Kontaminasi sedang
	Rerata	$0,73 \pm 0,44$		Kontaminasi rendah
3	Permukaan	0-10	0,06	Kontaminasi rendah
	Tengah	10-20	0,09	Kontaminasi rendah
	Dalam	20-50	1,86	Kontaminasi sedang
	Rerata	$0,67 \pm 1,03$		Kontaminasi rendah
4	Permukaan	0-10	0,09	Kontaminasi rendah
	Tengah	10-20	0,63	Kontaminasi rendah
	Dalam	20-50	0,71	Kontaminasi rendah
	Rerata	$0,47 \pm 0,34$		Kontaminasi rendah
Rerata keseluruhan		$0,56 \pm 0,55$		Kontaminasi rendah

Berdasarkan nilainya, nilai CF terendah di penelitian ini berada pada stasiun 1 ($0,36 \pm 0,37$), disusul oleh stasiun 4 ($0,47 \pm 0,34$) dan tertinggi berada pada stasiun 2 ($0,73 \pm 0,44$). Berdasarkan nilai faktor kontaminasi (CF),

mayoritas stasiun penelitian berada pada tingkat kontaminasi rendah ($CF < 1$), walaupun terdapat dua stasiun memiliki $CF > 1$ (tingkat kontaminasi sedang) (Tabel 1). Terdapatnya kontaminasi sedang di lapisan dalam khususnya di stasiun 2

dan 3 di penelitian ini mungkin lebih dikarenakan tingginya masukan sumber Cd di lokasi tersebut seperti yang sudah dijelaskan di sub bab sebelumnya. Dugaan ini relatif sama dengan hasil investigasi yang dilakukan oleh Gopal *et al.*, (2018) dan Wei *et al.*, (2019) bahwa nilai faktor kontaminasi Cd di dalam sedimen dapat dipengaruhi oleh adanya kegiatan antropogenik manusia di sekitar lokasi sampling. Berdasarkan nilai kontaminasinya, rendahnya nilai CF dari logam Cd di penelitian ini mungkin tidak memberikan pengaruh buruk terhadap ekosistem pesisir di sungai Sember seperti ekosistem mangrove, dan biota yang hidup di dalam sedimen seperti cacing, kerang, udang, kepiting dan biota lainnya.

Kesimpulan

Kisaran konsentrasi Cd pada sedimen di 4 stasiun penelitian dengan kedalaman 0-50 cm adalah 0,04 – 1,01 µg/g dengan rerata $0,37 \pm 0,29$ µg/g. Semua konsentrasi Cd masih berada dibawah nilai baku mutu sedimen. Proses akumulasi Cd mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya kedalaman sedimen. Mayoritas tingkat kontaminasi Cd di seluruh stasiun termasuk kategori kontaminasi rendah ($CF < 1$). Sumber kontaminasi Cd di sepanjang sungai Sember dipengaruhi oleh faktor alami dan juga aktifitas manusia dari daratan. Proses pemantauan secara berkala sangat diperlukan untuk melindungi ekosistem dan mengendalikan tingkat pencemaran yang terjadi di sepanjang sungai Sember.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Bapak Adnan dan Iwan Suyatna yang telah membantu penyelesaian penelitian ini. Penulis juga berterimakasih kepada *Integrated Laboratory*, khususnya laboratorium *Oceanography* dan Laboratorium Kualitas Air, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Mulawarman atas kesempatan dan fasilitas yang telah diberikan selama proses penelitian.

Referensi

Andini, A. D., Paputungan, M. S., Suryana, I., & Ritonga, I. R. (2024). Konsentrasi

Kadmium (Cd) pada Kerang Darah (*Anadara granosa*) dari Beberapa Pasar Tradisional di Kota Samarinda , dan Potensi Risikonya Terhadap Kesehatan Manusia. *Buletin Oseanografi Marina*, 13(3), 351–362. <https://doi.org/10.14710/buloma.v13i3.63526>

Anggraeni, D., Oginawati, K., Fahimah, N., Salami, I. R. S., Absari, H. R., Mukhaiyar, U., Pasaribu, U. S., Sari, K. N., & Adiyani, L. (2024). Analysis of Heavy Metals (Pb and Cd) in Soil Layers of Indonesia: Spatial Distribution, Potential Source, and Groundwater Effect. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9(February), 100652. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100652>

Ashar, A. A. A., Paputungan, M. S., Hamdhani, H., & Ritonga, I. R. (2025). Analisis Konsentrasi Fe, Mn, dan Zn pada Sedimen Mangrove di Sepanjang Sungai Sember Kota Balikpapan. *Jurnal Perikanan*, 15(1), 387-397. <https://doi.org/10.29303/jp.v15i1.1408>

Chen, Y., Ma, J., Yang, Y., Liu, X., Wang, D., Wu, C., & Dai, H. (2025). Geochemical Baseline , Pollution Evaluation , and Source Apportionment of Topsoil Heavy Metals in Eastern Yongqiao District of Suzhou City , China. *Sustainability (Switzerland)*, 17(9128), 1–23.

Dewi, G. A. Y., Samson, S. A., & Usman, U. (2018). Analisis Kandungan Logam Berat Pb dan Cd di Muara Sungai Manggar Balikpapan. *ECOTROPIC*, 12(2), 117–124. <https://doi.org/10.24843/ejes.2018.v12.i02.p02>

Dey, M., Akter, A., Islam, S., Chandra Dey, S., Choudhury, T. R., Fatema, K. J., & Begum, B. A. (2021). Assessment of Contamination Level, Pollution Risk and Source Apportionment of Heavy Metals in the Halda River water, Bangladesh. *Heliyon*, 7(12), e08625. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08625>

Fernandes, M. R., Melo, E. S. de P., Ancel, M. A. P., Guimarães, R. de C. A., Hiane, P. A., Geilow, K. de C. F., Bogo, D.,

- Tschinkel, P. F. S., Rosa, A. C. G., Medeiros, C. S. de A., Oliveira, R. J., Vilela, M. L. B., Garcia, D. A. Z., & Nascimento, V. A. do. (2025). Assessment of the Risk to Human Health and Pollution Levels Due to the Presence of Metal(loid)s in Sediments, Water, and Fishes in Urban Rivers in the State of Mato Grosso do Sul, Brazil. *Urban Science*, 9(4), 1–31. <https://doi.org/10.3390/urbansci9040114>
- Genchi, G., Sinicropi, M. S., Lauria, G., Carocci, A., & Catalano, A. (2020). The Effects of Cadmium Toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), 1–24. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113782>
- Gopal, V., Nithya, B., Magesh, N. S., & Jayaprakash, M. (2018). Seasonal Variations and Environmental Risk Assessment of Trace Elements in the Sediments of Uppanar River Estuary, Southern India. *Marine Pollution Bulletin*, 129(1), 347–356. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.03.003>
- Hakanson, L. (1980). An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control. A Sedimentological Approach. *Water Research*, 14(8), 975–1001.
- Hasan, M. R., Anisuzzaman, M., Choudhury, T. R., Arai, T., Yu, J., Albeshr, M. F., & Hossain, M. B. (2023). Vertical Distribution, Contamination Status and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Core Sediments from a Mangrove Dominated Tropical River. *Marine Pollution Bulletin*, 189(November 2022), 114804. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114804>
- Hasimuna, O. J., Chibesa, M., Ellender, B. R., & Maulu, S. (2021). Variability of Selected Heavy Metals in Surface Sediments and Ecological Risks in the Solwezi and Kifubwa Rivers, Northwestern Province, Zambia. *Scientific African*, 12, e00822. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00822>
- Huzairiah, M., Nugraha, M. A., & Pamungkas, A. (2022). Kontaminasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) Pada Sedimen Estuari Baturusa, Kota Pangkalpinang. *Journal of Tropical Marine Science*, 5(1), 19–29. <https://doi.org/10.33019/jour.trop.mar.sci.v5i1.2558>
- Kristiana, Prasetya, A. T., & Kasmui. (2020). Perbandingan Metode Destruksi Sedimen Sungai Kaligarang pada Analisis Logam Cu Menggunakan Flame Atomic Absorption Spectrometer (FAAS). *Indonesian Journal of Chemical Science*, 9(2), 99–105. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Liu, J., Cao, L., & Dou, S. (2019). Trophic Transfer, Biomagnification and Risk Assessments of Four Common Heavy Metals in the Food Web of Laizhou Bay, the Bohai Sea. *Science of The Total Environment*, 670, 508–522.
- Mardani, N. P. S., Restu, I. W., & Sari, A. H. W. (2018). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) Pada Badan Air dan Ikan di Perairan Teluk Benoa, Bali. *Current Trends in Aquatic Science*, 1(1), 106. <https://doi.org/10.24843/ctas.2018.v01.i01.p14>
- Maria, Jamaluddin, & Umar, E. P. (2023). Analisis Logam Berat Sedimen Wilayah Kota Balikpapan Berdasarkan Geo-Accumulation Index (Igeo). *Justek: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 6(4), 418–426. <http://journal.ummat.ac.id/index.php/justek>
- Noor, R. J., Kabangnga, A., & Fathuddin, F. (2021). Distribusi Spasial dan Faktor Kontaminasi Logam Berat di Pesisir Kota Makassar. *Jurnal Kelautan Tropis*, 24(1), 93–101. <https://doi.org/10.14710/jkt.v24i1.9619>
- Persaud, D., Jaagumagi, R., & Hayton, A. (1993). *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario*. Ontario Ministry of the Environment. <https://atrium.lib.uoguelph.ca/server/api/core/bitstreams/d662f9f3-49b4-403e-95ce-8c481224cd1a/content>

- Putri, A. D. D., Yona, D., & Handayani, M. (2016). Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd), Tembaga (Cu) dan Seng (Zn) pada Air dan Sedimen Perairan Pelabuhan Kamal, Kabupaten Bangkalan–Madura. *Seminar Nasional Perikanan Dan Kelautan Vi, May*, 533–538.
- Sitorus, S., Ilang, Y., & Nugroho, R. A. (2020). Analisis kadar logam Pb, Cd, Cu, As pada air, sedimen dan bivalvia di pesisir Teluk Balikpapan. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, 7(2), 89–94. <https://doi.org/10.31258/dli.7.2.p.89-94>
- Sukaryono, I. D., & Dewa, R. P. (2018). Pemantauan Kandungan Logam Berat Pb dan Cd pada. *Majalah BIAM*, 14(1), 1–7.
- Syafira, A. R., Ritonga, I. R., Paputungan, M. S., & Suryana, I. (2023). Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Sedimen Mangrove di Kawasan Mangrove Center Graha Indah, Balikpapan, Kalimantan Timur. *Jurnal Perikanan Unram*, 13(1), 220–231.
- <https://doi.org/10.29303/jp.v13i1.465>
- Syahminan, S., Riani, E., Anwar, S., & Rifardi, R. (2015). Heavy Metals Pollution Status Pb and Cd in Sediments in Dumai Sea western waters – Riau Province. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 5(2), 133–140. <https://doi.org/10.19081/jpsl.5.2.133>
- Wei, J., Duan, M., Li, Y., Nwankwegu, A. S., Ji, Y., & Zhang, J. (2019). Concentration and Pollution Assessment of Heavy Metals Within Surface Sediments of the Raohe Basin, China. *Scientific Reports*, 9(1), 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49724-7>
- Wulandari, M., Harfadli, M. M., & Rahmania, R. (2020). Penentuan kondisi kualitas perairan Muara Sungai Somber, Balikpapan, Kalimantan Timur dengan Metode Indeks Pencemaran (Pollution Index). *SPECTA Journal of Technology*, 4(2), 23–34. <https://doi.org/10.35718/specta.v4i2.186>