

ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) DAN TEMBAGA (Cu) PADA PERAIRAN TELUK BALIKPAPAN PROVINSI KALIMANTAN TIMUR

ANALYSIS OF THE HEAVY METAL CONTENT OF LEAD (Pb) AND COPPER (Cu) IN THE WATERS OF BALIKPAPAN BAY, EAST KALIMANTAN

Rezky Rahmadani^{1*}, Irma Suryana¹, Adnan¹

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Mulawarman, Indonesia

*E-mail: rezkyrahmadani91@gmail.com

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article history: Received: 3 June 2026 Revised: 11 August 2026 Accepted: 7 September 2026 Available online: 10 October 2026 Keywords: AAS, Balikpapan's Bay, Cu, Pb, Water Quality.	<i>The waters of Balikpapan Bay are characterized by intensive human activities, including oil industry operations, coal transportation routes, domestic shipping, shipyards, and terminals supporting the communities of Balikpapan and Penajam Paser Utara (PPU). This study was aimed to determine the concentrations of Pb and Cu in the water, measured environmental parameters including temperature, salinity, pH, and current velocity, and analyzed the relationship between environmental parameters with Pb and Cu concentrations in Balikpapan Bay. A descriptive research method was employed, with sampling locations determined based on their proximity to potential sources of Pb and Cu contamination. Heavy metal concentrations were analyzed using Flame Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) and Graphite Furnace AAS. Statistical analysis was conducted to examine correlations between environmental parameters and heavy metal concentrations, and the results were compared with established marine water quality standards. The results showed that Pb concentrations ranged from 0.0038 to 0.107 mg/L, with four stations exceeding the permitted water quality standards. Cu concentrations ranged from 0.012 to 0.017 mg/L, with all sampling stations exceeding the allowable limits. Measured environmental parameters were within acceptable marine water quality standards. However, statistical determination and correlation analyses indicated no significant relationship between environmental parameters with Pb and Cu concentrations.</i>
	ABSTRAK
Kata Kunci: AAS, Cu, Kualitas Air, Pb, Teluk Balikpapan	Perairan Teluk Balikpapan merupakan kawasan padat aktivitas manusia, adanya industri minyak, jalur transportasi batubara, transportasi domestik, galangan kapal dan terminal bagi kegiatan masyarakat Balikpapan dan PPU. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi Pb dan Cu di air, mengetahui parameter lingkungan yakni suhu, salinitas, pH dan kecepatan arus, serta menganalisis hubungan parameter lingkungan dengan konsentrasi Pb dan Cu di perairan Teluk Balikpapan. Metode yang digunakan adalah penelitian deskriptif dengan penentuan sampling berdasarkan kedekatan dengan sumber yang memberikan potensi pencemaran Pb dan Cu dan menganalisis menggunakan AAS flame dan Graphite Furnace untuk logam berat, serta menganalisis hubungan dengan perhitungan statistik dan membandingkan dengan baku mutu lingkungan perairan. Hasil menunjukkan bahwa kisaran Pb yang terukur 0.0038 - 0.107 mg/L dengan 4 stasiun berada diluar baku mutu, sedangkan Cu 0.012 - 0.017 mg/L dengan keseluruhan berada diluar baku mutu yang diperbolehkan. Parameter lingkungan yang terukur masih dalam batas baku mutu perairan yang sesuai. Sedangkan determinasi dan korelasi antar parameter lingkungan dengan Pb dan Cu tidak signifikan.

Copyright © 2026 The Author(s). Licensed under CC BY-SA 4.0.

1. PENDAHULUAN

Kawasan maritim Balikpapan merupakan kawasan pengembangan kilang minyak dan jalur transportasi lokal, nasional, dan internasional. Kegiatan industri dan transportasi air secara tidak langsung mengangkut zat-zat yang berpotensi menimbulkan racun seperti logam berat. Apabila jumlah logam berat dalam perairan melebihi nilai batas atau baku mutu, maka dapat mempengaruhi kehidupan organisme perairan.

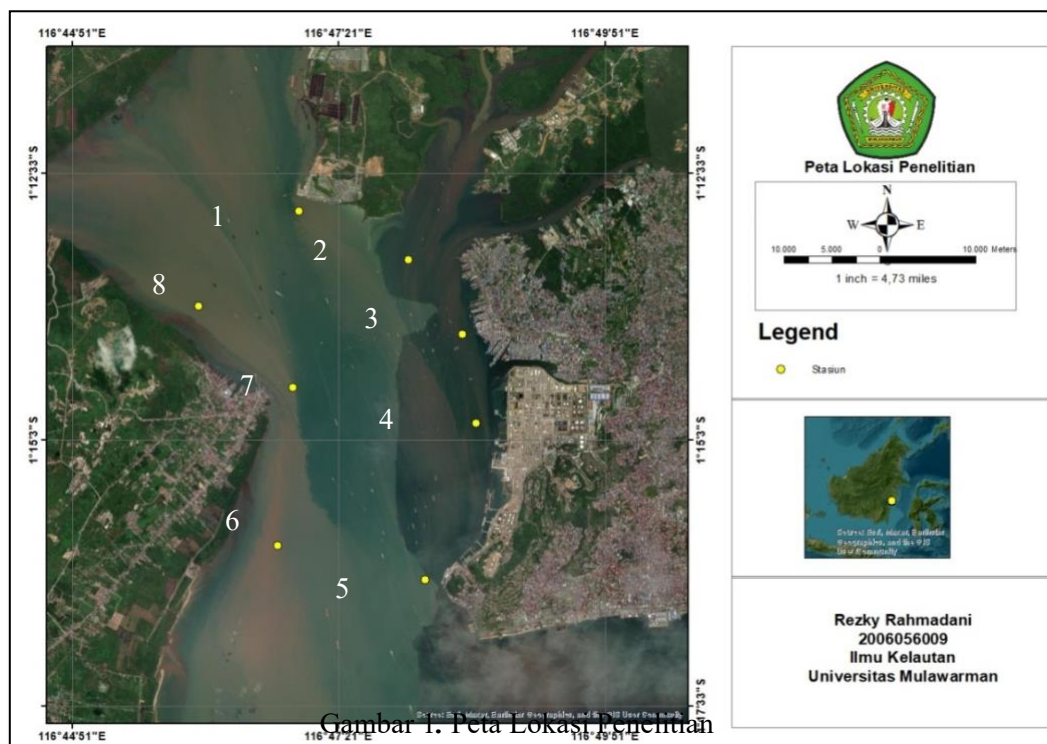
Pencemaran logam berat dapat berasal dari kebocoran pipa di perairan Teluk Balikpapan (dampak kecelakaan masa lalu), selain itu limbah bahan bakar kapal, dan aktivitas peremajaan kapal di daerah teluk Balikpapan juga menjadi potensi pencemar, selanjutnya aktivitas antropogenik, dari aktivitas pemukiman, pasar ataupun kegiatan domestik lainnya dapat membawa limbah yang mengalir ke sungai-sungai yang mengandung berbagai macam zat, baik itu zat hara maupun limbah berbahaya yang dapat mengganggu pertumbuhan dan perkembangan ikan dan organisme perairan atau dapat mengakibatkan penurunan kualitas air (Mukhtasor, 2007), (Juniar *et al.*, 2023) dan (Usman, 2015).

Penelitian tentang Pb dan Cu di perairan teluk Balikpapan, telah dipublikasikan sebelumnya dengan kadar Pb yang terukur pada air laut berkisar antara 0,00517-0,00530 ppm dengan rerata total sebesar 0,005235 ppm atau 5,235 ppb, sedangkan Cu berkisar antara 0,0022-0,0023 ppm dengan rerata total 0,00225 ppm atau 2,25 ppb dengan total 23 stasiun (Rochyatun *et al.*, 2003). Penelitian oleh Rahmat *et al.* (2016) tidak mendeteksi Pb, hanya mendeteksi Cu dengan kisaran 0,001-0,002 mg/l dengan total 3 stasiun. Sedangkan data terbaru yang didapatkan pada tahun 2020, mengukur konsentrasi logam Pb air berkisar antara 0,064-0,142 mg/L dan Cu berkisar antara 0,035-0,056 mg/L pada 2 stasiun (S. Sitorus *et al.*, 2020). Monitoring logam Pb dan Cu di Teluk Balikpapan merupakan satu hal penting, mengingat peran Teluk Balikpapan dalam menopang kehidupan di Kalimantan Timur, dan tingginya faktor antropogenik di sekitarnya. Perlunya informasi terkini dapat memberikan gambaran kondisi lingkungan serta tambahan informasi terkait faktor sekunder yang mempengaruhi konsentrasi Pb dan Cu di Teluk Balikpapan.

2. METODOLOGI

2.1 Lokasi Penelitian

Titik lokasi pengambilan sampel terdiri dari 8 titik berdasarkan kedekatan dengan sumber aktivitas manusia yang memunculkan dugaan cemaran logam berat di perairan. Destruksi sampel logam berat timbal (Pb), tembaga (Cu) dan analisis logam berat dilakukan di Laboratorium Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri Samarinda menggunakan *Spektrofotometer Serapan Atom* (AAS). Berikut adalah gambar lokasi penelitian.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

2.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat sampling air yakni water sampler, pengukur suhu, salinitas, pH, botol sampel dan cool box. Selain itu juga dilakukan pengukuran arus dengan bola arus, stopwatch dan GPS dalam penentuan koordinat lokasi. Analisis sampel air laut memerlukan filter paper, larutan induk Pb dan Cu, HNO₃, Aquades dan menggunakan AAS flame dan Graphite furnace.

2.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif deskriptif dengan metode sampling purposive, yakni menentukan titik stasiun berdasarkan faktor masukan logam Pb dan Cu di perairan pada 8 stasiun sesuai karakteristik dugaan sumber masukan cemaran, yakni Stasiun 1 berada di Perusahaan Pertamina dan Logistik Balikpapan yang berada di mulut muara, stasiun 2 berada di Jalur Kapal Ferry di mulut muara dengan mangrove, stasiun 3 berada di Kawasan Kampung Baru, padat penduduk, stasiun 4 berada di wilayah kilang Minyak, stasiun 5 berada di Pelabuhan Semayang aktif, stasiun 6 berada di Daerah Pantai/Mangrove dan jalur transportasi, stasiun 7 berada di Pelabuhan Klotok Penajam, dan stasiun 8 berada di Pelabuhan Batu Penajam. Sampling air diambil pada kedalaman 2 meter dari permukaan menggunakan water sampler sebanyak 600 mL dilakukan pengukuran suhu, salinitas dan kecepatan arus di lapangan, kemudian sampel air disimpan dalam *cool box* dan dikirim ke Laboratorium Badan Standarisasi dan Pelayanan Jasa Industri Samarinda. Pengukuran pH air dilakukan juga di laboratorium serta dilanjutkan dengan analisis sampel Pb mengikuti prosedur SNI 6989.84:2019 dan Cu mengikuti prosedur SNI 6989-84:2019 pada AAS Shimadzu AA7000 tipe flame pada panjang gelombang 283.3 nm (Pb) dan tipe Graphite furnace pada panjang gelombang 324.7 nm (Cu).

2.4 Analisis data

Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan uji regresi untuk menentukan konsentrasi Pb dan CU yang absorbannya terukur pada AAS, kemudian dilakukan analisis statistik menggunakan sebaran data pada diagram excel dan kemudian melakukan uji polinomial untuk mendapatkan determinasi dan korelasi data parameter kualitas air dengan logam Pb dan Cu yang terukur. Keterkaitan antar parameter ditentukan dengan koefisien korelasi dalam tabel 1. (Sungkawa, 2013) dan (Cahyono, 2017).

Tabel 1. Kategori korelasi.

KATEGORI KORELASI	
0,00 - 0,199	Sangat rendah
0,20 - 0,399	Rendah
0,40 - 0,599	Sedang
0,60 - 0,799	Kuat
0,80 - 1,00	Sangat kuat

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengukuran Kualitas Air dan Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu)

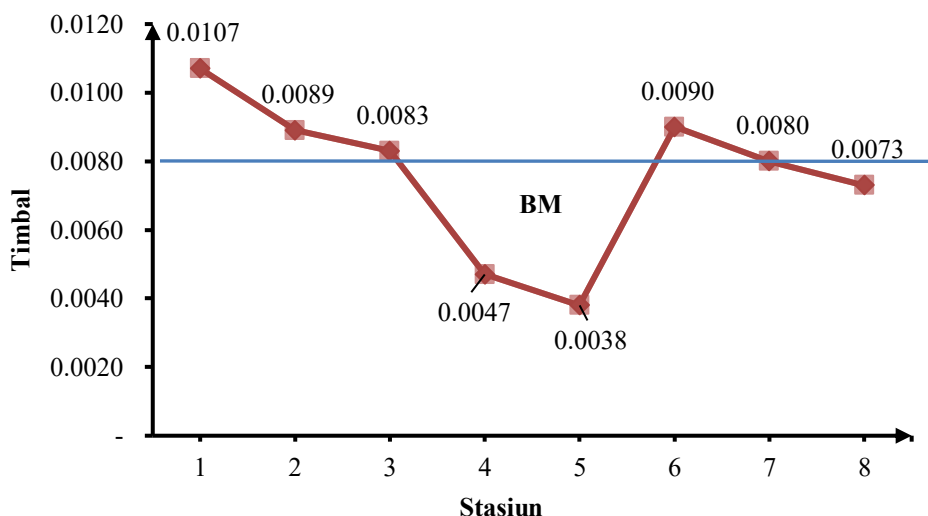
Berikut merupakan hasil pengukuran parameter fisika dan kimia di perairan Teluk Balikpapan dan kandungan logam berat timbal serta tembaga dalam penelitian ini. Tabel 3. menggambarkan kondisi kualitas air dan logam berat Pb dan Cu yang diukur di lokasi penelitian. Secara umum kondisi kualitas air dari stasiun 1 sampai stasiun 8 tidak terlalu berbeda. Tetapi, kandungan logam berat timbal (Pb) di beberapa stasiun dan tembaga (Cu) di seluruh stasiun terukur diluar batas baku mutu yang diperbolehkan di perairan.

Tabel 2. Hasil pengukuran kualitas air dan kandungan Pb dan Cu.

Stasiun	Salinitas (ppt)	Suhu (°C)	pH	Kecepatan arus (m/s)	Pb (mg/L)	Cu (mg/L)
1	26	32	7.76	0.9	0.0107	0.012
2	26	30	7.79	0.025	0.0089	0.012
3	28	29	7.8	0,77	0.0083	0.012
4	26	32	7.82	0.98	0.0047	0.012
5	28	31	7.86	0.93	0.0038	0.017
6	30	32	7.83	0.95	0.009	0.016
7	27	31	7.85	0.83	0.008	0.012
8	29	29	7.86	0.05	0.0073	0.012

BM	27-32	28-30	6.5-8.5	-	>0.0080	>0.0080
(PP no 22 thn 2021)						

3.2 Logam Berat Timbal (Pb)



Gambar 2. Grafik Logam Berat Timbal Berdasarkan Stasiun

Konsentrasi Pb tertinggi berada pada stasiun 1 yang merupakan stasiun dengan lokasi berdekatan dengan aktivitas dari transportasi kapal yang merupakan wilayah perusahaan Pertamina dan logistik Balikpapan (Tabel 2). Menurut (El-sharkawy *et al.*, 2025) limbah logam dapat bersumber dari industri berbasis minyak dan logistik yang merupakan sumber utama logam berat seperti Pb dan Cu di lingkungan pesisir karena pembuangan limbah industri dan sumber antropogenik lainnya ke sistem perairan. Sumber lainnya adalah, jika terdapat penggunaan bahan bakar yang lebih murah misalnya menggunakan tetraetil-Pb dan tetrametil-Pb untuk menanggulangi knocking mesin (Nur & Karneli, 2015) juga disinyalir menjadi sumber masukan Pb ke perairan. Selain itu, kawasan pelabuhan yang padat aktivitas kapal sering dilaporkan memiliki kontribusi pencemar logam berat dari kegiatan transportasi laut.

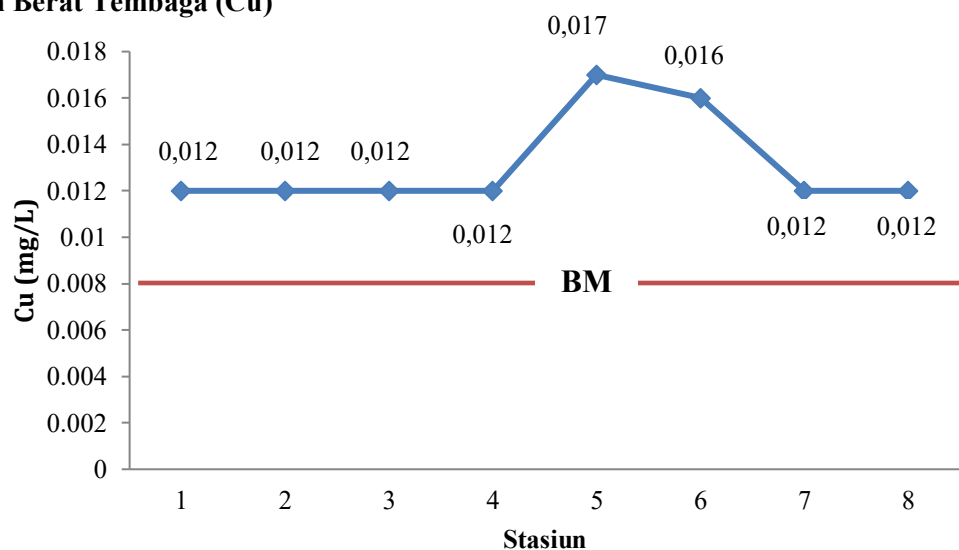
Berbagai aktivitas perkapalan seperti lalu lintas kapal, galangan, dan limbah kapal berpotensi menyumbangkan cemaran Pb ke perairan pesisir. Oleh karena itu, pelapis cat kapal dipandang sebagai salah satu sumber penting Pb di lingkungan laut, terutama di area dengan intensitas pelayaran tinggi (Souisa, 2017). Apabila dikaitkan dengan kondisi kualitas airnya, di stasiun ini terukur salinitas termasuk yang terendah, karena merupakan lokasi di mulut muara dan terjadi pencampuran air tawar. Stasiun 2 merupakan wilayah transportasi penumpang, yakni jalur kapal ferry, sumber pencemar Pb bisa berasal dari bahan bakar maupun dari buangan kapal yang mengosongkan perut kapalnya ketika bersandar (Agus Tjahjono *et al.*, 2017). Menurut Tarigan, *et al* (2023) Perairan pelabuhan menunjukkan konsentrasi Pb dan juga Cu yang tinggi akibat aktivitas pelayaran dan kegiatan kapal seperti penggunaan bahan bakar, cat antifouling, dan pembuangan limbah kapal. Selain itu, wilayah teluk yang langsung berbatasan dengan muara sungai, sehingga sumber antropogenik yang membawa polutan Pb juga akan mungkin terbawa hingga ke lokasi ini. Karakteristik kualitas air pada stasiun 2 didapatkan kondisi salinitas yang sama dengan stasiun 1, dimana diketahui bahwa pencampuran air tawar sangat mungkin terjadi di wilayah mulut muara. Walaupun demikian, suhu terukur lebih rendah dibandingkan dengan stasiun 1, karena jalur Ferry masih banyak ditemukan mangrove yang bisa meredam pemanasan pada perairan (Alongi, 2008).

Kualitas keasaman perairan (pH) di stasiun 1 lebih rendah dibandingkan stasiun lainnya, walaupun masih dalam kisaran normal. Menurunnya pH, menurut Sukoasih *et al* (2017), dapat mempengaruhi toksisitas logam berat sehingga menjadi lebih meningkat, rendahnya nilai pH, menurut (Hasler *et al.*, 2017) akan meningkatkan CO₂ bebas dalam perairan yang menyebabkan perubahan pH melalui mekanisme pembentukan asam karbonat. Menurut Yolanda (2023), pH dan salinitas memiliki hubungan satu sama lain, dimana jika salinitas di suatu perairan rendah juga akan menurunkan pH nya, karena garam berperan sebagai buffer dan menetralkan asam atau basa. Parameter kecepatan arus yang terukur menunjukkan kategori aliran sangat lambat di stasiun 1, sehingga sebaran cemaran logam Pb akan juga lemah distribusinya (Fitria *et al.*, 2013).

Pada Stasiun 3 dan 6, merupakan wilayah dengan aktivitas pemukiman padat dan wisata pantai, sumber cemaran Pb diduga bersumber dari aktivitas antropogenik di sekitarnya. Suhu yang tinggi dapat meningkatkan

penguapan dan konsentrat logam berat dalam perairan akan semakin terakumulasi. Di stasiun 6, mangrove dengan sistem perakarannya dapat membuat proses penurunan logam berat lebih cepat terjadi di lokasi tersebut (Kartikasari *et al.*, 2002), begitu pula menurut Syafira *et al* (2023) bahwa lokasi mangrove memiliki faktor dinamika pasang surut dan masukan air tawar yang dominan sehingga dapat menurunkan kadar logam berat pada sedimen, apalagi jika lokasinya masih alami dan jauh dari aktivitas masyarakat. Selain itu, kondisi mangrove seperti dijelaskan sebelumnya, disinyalir memiliki kedalaman yang dangkal, sehingga aktivitas manusia yang tidak terlalu tinggi di lokasi ini (dibandingkan dengan stasiun lain), tetap mempengaruhi pergerakan partikel dari sedimen, sayangnya pengukuran kedalaman tidak dilakukan saat penelitian. Fluktuasi konsentrasi Pb menunjukkan pola naik–turun yang tidak merata antar stasiun. Peningkatan konsentrasi Pb umumnya terjadi pada lokasi yang dekat dengan sumber aktivitas antropogenik, sedangkan penurunan terjadi akibat proses pengenceran oleh arus serta pengendapan ke sedimen. Selain itu, perubahan pH juga berperan dalam meningkatkan atau menurunkan kelarutan Pb di perairan.

3.3 Logam Berat Tembaga (Cu)



Gambar 3. Grafik Logam Berat Tembaga Berdasarkan Stasiun

Dari tabel 3 diatas terukur logam tembaga (Cu) di semua stasiun telah melewati baku mutu. Hal ini disebabkan bahwa sumber cemaran tembaga di lokasi penelitian cukup tinggi, sumber Cu bisa disebabkan aktivitas pertambangan, transportasi, bahkan juga dari sumber antropogenik seperti kegiatan domestik masyarakat. Menurut (Setyaningrum, 2018), logam berat tembaga secara alami memiliki konsentrasi yang rendah pada perairan. Tinggi rendahnya konsentrasi logam berat disebabkan oleh jumlah maksimum limbah logam berat ke perairan. Logam Berat tembaga yang masuk perairan akan mengalami pengendapan, pengenceran dan dispersi, kemudian diserap oleh organisme yang hidup di perairan (Endang Supriyanti *et al.*, 2015). Hikmat *et al.*, (2023), menjelaskan bahwa aktivitas industri merupakan salah satu penyumbang terbesar logam berat ke perairan. Proses seperti elektroplating, pengolahan logam, pembuatan baterai, tekstil, kulit, dan industri kimia menghasilkan limbah yang mengandung logam berat. Jika limbah ini dibuang tanpa pengolahan yang memadai ke sungai atau laut, kandungan logam berat di air akan meningkat.

Logam berat Cu memiliki kecenderungan untuk lebih mudah terikat pada sedimen, tetapi kondisi dangkal memicu resuspensi tembaga dari sedimen, sehingga lebih mudah terdeteksi saat pengadukan, ditambah lagi aktivitas manusia dekat pantai mempercepat peningkatan kadar yang bisa diukur (El-sharkawy *et al.*, 2025). Konsentrasi tertinggi Cu terukur di stasiun 5 dan 6, dimana lokasi ini merupakan pemukiman dan lokasi wisata (Tabel 2). Menurut (Nineu & Yani, 2015), Beberapa studi di pesisir menunjukkan bahwa limbah domestik dan aktivitas manusia (misalnya rumah tangga) menyebabkan akumulasi logam berat seperti Pb dan Cu ke dalam sedimen dan air laut. Menurut Anggraini & Puryanti, (2019), aktivitas seperti bongkar muat barang, pemeliharaan kapal, aktivitas industri pelabuhan, serta proses seperti pengisian bahan bakar kapal, rutin perbaikan kapal, dan penggunaan cat kapal dapat melepaskan logam berat.

Stasiun lainnya yang juga masih diatas baku mutu cemaran tembaga, terukur bahwa di stasiun 1, 2, 3, 4, 7 dan 8 terdapat industri pertambangan, pelabuhan, dan lokasi kilang minyak, walaupun lebih rendah konsentrasinya dibandingkan dengan yang padat pemukiman. Sumber Cu selain dari aktivitas antropogenik terutama dari limbah cair industri dan emisi proses, juga bisa berasal dari limpasan sungai, korosi material

logam ataupun pelapukan batuan. Berdasarkan sifat fisika kimianya, Cu lebih mudah membentuk ion kompleks yang lebih stabil ketika berikatan dengan bahan organik, selain proses oksidasi di perairan laut dan reaksi dengan klorida (mineral laut) akan memperlambat proses pengendapan ke sedimen, sehingga memungkinkan Cu terdeteksi di air laut (El-sharkawy *et al.*, 2025) dan (Desy *et al.*, 2018) ditambah lagi transportasi material yang terjadi di pelabuhan pada stasiun 8 yang merupakan pintu masuk konstruksi IKN melalui laut, dapat berdampak pada akumulasi logam berat di sedimen pelabuhan dan air laut (Anggraini & Puryanti, 2019). Pola fluktuasi logam tembaga (Cu) di perairan menunjukkan distribusi yang relatif merata dengan konsentrasi yang cenderung tinggi di seluruh stasiun penelitian. Meskipun demikian, terdapat variasi antar lokasi yang dipengaruhi oleh kedekatan dengan sumber pencemar, aktivitas antropogenik, serta kondisi hidrodinamika perairan. Selain itu, sifat Cu yang mudah terikat pada sedimen namun dapat kembali terlepas ke kolom air menyebabkan pola fluktuasi yang dinamis dan tidak stabil.

3.4 Hubungan Parameter Kualitas Air dengan Pb dan Cu

Hubungan parameter lingkungan (Suhu, Arua, Salinitas, dan Ph) dengan Pb dan Cu dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 3. Hubungan Parameter Kualitas Air dengan Pb dan Cu

Statistik analisis	Suhu		Salinitas		pH		Kecepatan Arus	
	Pb	Cu	Pb	Cu	Pb	Cu	Pb	Cu
R ²	0,0631	0,1637	0,1617	0,3184	0,4986	0,3196	0,1607	0,2717
R	0,251	0,404	0,402	0,564	0,706	0,565	0,400	0,521

Tabel 3 diatas menunjukkan faktor determinasi (R²) diketahui yang paling besar mempengaruhi logam berat Pb dan Cu adalah pH sebesar 49,86% untuk Pb dan 31,96% untuk Cu. Hal ini dikarenakan Timbal (Pb) sangat sensitif terhadap perubahan pH karena pada pH netral hingga basa, Pb mudah membentuk endapan seperti Pb(OH)₂ dan PbCO₃. Demikian pula tembaga (Cu) pada pH tinggi akan membentuk kompleks hidroksida yang stabil atau terikat kuat pada bahan organik dan partikel sedimen (Ling-xi Zhao *et al.*, 2018). Faktor korelasi (r) Pb juga menunjukkan bahwa suhu memiliki korelasi sedang, salinitas dan arus memiliki korelasi sedang, dan pH memiliki korelasi kuat, sedangkan faktor korelasi (r) Cu menunjukkan bahwa semua parameter memiliki korelasi sedang.

4. KESIMPULAN

Nilai Pb dan Cu yang terukur di Teluk Balikpapan memiliki kisaran 0,0038 mg/L – 0,0107mg/L untuk Pb dan 0,012 mg/L – 0,017 mg/L untuk Cu. Untuk Pb yang menunjukkan 4 dari 8 lokasi memiliki kisaran nilai diluar baku mutu perairan. Sedangkan Cu menunjukkan semua titik lokasi memiliki kisaran nilai yang telah melewati batas baku mutu yaitu sekitar 0,008 mg/L. Parameter lingkungan di 8 lokasi di Teluk Balikpapan seperti salinitas memiliki rentang sekitar 26-30 ppt, suhu memiliki rentang sekitar 29-30°C, pH memiliki rentang sekitar 7.76-7.86, sedangkan kecepatan arus berada pada kisaran 0,05-0,98 m/s, semua nilai berada dalam rentang baku mutu yang diperbolehkan. Faktor determinasi (R²) diketahui yang paling besar mempengaruhi logam berat Pb dan Cu adalah pH sebesar 49,86% untuk Pb dan 31,96% untuk Cu. Faktor korelasi (r) Pb juga menunjukkan bahwa suhu, salinitas, arus memiliki korelasi sedang, dan pH memiliki korelasi kuat, sedangkan faktor korelasi (r) Cu menunjukkan bahwa semua parameter memiliki korelasi sedang.

REFERENSI

- Agus Tjahjono, Azis Nur Bambang, S. A. (2017). Analysis Of Heavy Metal Content Of Pb In Ballast Water Tank Of Commercial Vessels In Port Of Tanjung Emas Semarang. *Journal of Ecological Engineering*, 18(2), 7–11.
- Alongi, D. M. (2008). Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76(1), 1–13.
- Ami Sukoasih, Teguh Widiyanto dan Suparmin. (2017). Hubungan Antara Suhu, Ph Dan Berbagai Variasi Jarak Dengan Kadar Timbal (Pb) Pada Badan Air Sungai Rompong Dan Air Sumur Gali Industri Batik Sokaraja Tengah Tahun 2016 . *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. 5(2). 360-368
- Anggraini, W., & Puryanti, D. (2019). Identifikasi Pencemaran Logam Berat Tembaga (Cu), Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) Air Laut di Sekitar Pelabuhan Teluk Bayur Kota Padang. *Jurnal Ilmu Fisika | Universitas*

Andalas, 11(2), 95–101.

- Anindia Resty Syafira, Irwan Ramadhan Ritonga, Mohammad Sumiran Paputungan, Irma Suryana (2023) Analisis Kandungan Timbal (Pb) Pada Sedimen Mangrove Di Kawasan Mangrove Center Graha Indah, Balikpapan, Kalimantan Timur. *Jurnal Perikanan*, 13 (1), 220-231. <http://doi.org/10.29303/jp.v13i1.465228>
- Cahyono, T. (2017). *Statistik Uji Korelasi*. Yayasan Sanitarian Banyumas (YASAMAS). Indonesia
- Desy Adriani Safitri, Baharuddin, D. S. (2018). Studi Pemetaan Distribusi Spasial Baku dan Status Mutu Perairan Secara Vertikal di Perairan Teluk Balikpapan Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Kelautan* 2(1), 1-10.
- El-sharkawy, M., Alotaibi, M. O., Li, J., Du, D., & Mahmoud, E. (2025). *Heavy Metal Pollution in Coastal Environments : Ecological Implications and Management Strategies : A Review. Sustainability* 2025, 17, 701.1–29.
- Endang Supriyanti dan Nirwani Soenardjo. (2015). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dan Tembaga (Cu) Pada Akar Dan Buah Mangrove Avicennia marina Di Perairan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*. 18(2), 98–106.
- Fitria, W., Amin, B., & Samiaji, J. (2013). Analisis Kandungan Logam Berat Pb, Cu, Zn, Ni dan Bahan Organik Pada Sedimen di Perairan Pantai Timur Sumatera. 1–15.
- Hasler, C. T., Jeffrey, J. D., Schneider, E. V. C., Hannan, K. D., Tix, J. A., & Suski, C. D. (2017). *Biological consequences of weak acidification caused by elevated carbon dioxide in freshwater ecosystems. Hydrobiologia*. 1-12
- Hikmat, K., Aziz, H., Mustafa, F. S., & Omer, K. M. (2023). *Heavy metal pollution in the aquatic environment : efficient and low-cost removal approaches to eliminate their toxicity : a review. RSC Advances*, 13, 17595–17610.
- Juniar, M. I. E., Jailani, J., & Ghitarina, G. (2023). Analisis Kandungan Logam Berat (Pb, Cd, dan Cu) Pada Lamun (*Enhalus acoroides* dan *Thalassia hemprichii*) Sebagai Bioindikator Pencemaran di Teluk Balikpapan, Kota Balikpapan, Kalimantan Timur. *Tropical Aquatic Sciences*, 1(2), 102–111.
- Kartikasari, V., Tandjung, S. D., & Sunarto. (2002). Akumulasi Logam Berat Cd dan Pb Pada Tumbuhan Mangrove Avicennia Marina di Muara Sungai Babon Perbatasan Kota Semarang dan Kabupaten Demak Jawa Tengah. *Jurnal Kelautan Tropis*, 9(3), 137–147.
- Ling-xi Zhao, Ming-Chao Jiang, Ling-Yu Luan, Qing Li, J. Z. (2018). *Examination of current adsorption models for Pb (II) and Cu (II) adsorption onto Double Hydroxide in aqueous solution. Sage Journals*, 36(3), 669–683. <https://doi.org/10.1177/0263617417714166>
- Mukhtasor. (2007). *Pencemaran Pesisir dan Laut Cetakan 1*. Jakarta Oradnya Paramita. ISBN: 978-979-408-541-7. Jakarta. Indonesia. hlm. 303-313.
- Nineu, & Yani, G. (2015). Kandungan Logam Berat (Cd, Cu, Pb, dan Zn) Dalam Air Laut di Perairan Pantai Timur Pulau Rote. *Jurnal Geologi Kelautan*. 13(2), 99–108.
- Nur, F., & Karneli. (2015). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Kerang Kima Sisik (*Tridacna squamosa*) di Sekitar Pelabuhan Feri Bira. *Prosiding Seminar Nasional Mikrobiologi Kesehatan Dan Lingkungan*, 188–192.
- Peraturan Pemerintah No. 22 tahun 2021 tentang Baku Mutu Air Laut, lampiran VIII
- Rahmat, U. E. (2016). Konsentrasi Logam Berat Cu, Zn, Cd, Pb dan Partisinya di Perairan Teluk Balikpapan. *Jurnal IPB University*. 29(8), 1–34.
- Rochyatun, E., Edward, & Rozak, A. (2003). Kandungan Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Cr, Mn & Fe Dalam Air Laut dan Sedimen Di Perairan Kalimantan Timur. *Oseanologi Dan Limnologi Indonesia*, 35, 51–71.
- Setyaningrum. (2018). Analisis Kandungan Logam Berat Cu, Pb, Hg dan Sn Terlarut di Pesisir Kabupaten Banyuwangi. *Prosiding Seminar Nasional Kelautan Dan Perikanan IV*, 9, 144–153.
- Sitorus, H. (2004). Analisis Beberapa Karakteristik Lingkungan Perairan yang Mempengaruhi Akumulasi Logam Berat Timbal dalam Tubuh Kerang Darah di Perairan Pesisir Timur Sumatera Utara (Analysis of Several Characteristics of Aquatic Environment which Affect on the Lead Accum. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan Dan Perikanan*, 11(1), 53–60.
- Souisa, G. V. (2017). Konsentrasi Logam Berat Cadmium dan Timbal Pada Air dan Sedimen di Teluk Ambon. *2-TRIK: Tunas-Tunas Riset Kesehatan*. 7(1), 1–7.
- Sungkawa, I. (2013). Penerapan Analisis Regresi dan Korelasi Dalam Menentukan Arah Hubungan Antara Dua Faktor Kualitatif Pada Tabel Kontingensi. *Jurnal Mat Stat*. 13(1), 33–41.
- Tarigan, Z. and Edward, Edward (2023) "Kandungan Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn Dan Ni Dalam Air Laut Dan Sedimen Di Muara Sungai Membramo, Papua Dalam Kaitannya Dengan Kepentingan Budidaya

Perikanan," *Makara Journal of Science*: Vol. 7: Iss. 3, Article 4.

Usman, A.F., Budimawan, & Budi, P. (2015). Kandungan Logam Berat Pb-Cd dan Kualitas Air di Perairan Biringkassi, Bungoro, Pangkep. *Jurnal Agrokompleks*, 4(9):103–108.

Yolanda, Y. (2023). Analisa Pengaruh Suhu , Salinitas dan pH Terhadap Kualitas Air di Muara Perairan Belawan. 11(2), 329–337.