

Tingkat Kontaminasi Tembaga dan Timbal pada Perairan Pelabuhan Tanjung Emas Semarang

Eko Purnomo¹, Hermin Pancasakti Kusumaningrum^{1,2*}, Anto Budiharjo^{1,2}, dan Arina Tri Lunggani^{1,2}

¹Program Studi Magister Biologi, Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia; *e-mail: herminpk@live.undip.ac.id

²Program Studi Bioteknologi, Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

ABSTRAK

Pencemaran polutan logam berat tembaga (Cu) dan timbal (Pb) di perairan Pelabuhan Tanjung Emas Semarang (PTES), diakibatkan oleh dampak aktivitas pelabuhan, pelayaran, proses industri dan buangan limbah domestik perkotaan. Hal ini berdampak negatif pada keberlanjutan ekosistem akuatik dan masyarakat setempat, sehingga diperlukan kajian terkait pencemaran logam berat tembaga dan timbal di perairan PTES. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh data terbaru terkait analisis konsentrasi dan status kontaminasi polutan logam berat Cu dan Pb di air dan sedimen perairan PTES. Metode penelitian ini mengukur konsentrasi Cu dan Pb pada lapisan sedimen dan perairan di tiga stasiun sampling. Metode pengukuran logam Cu dan Pb menggunakan metode *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Data konsentrasi logam berat yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan standar kualitas sedimen (*Sediment Quality Guidelines, SQG*) dari *U.S. Environmental Protection Agency* (US EPA) untuk sampel sedimen dan standar PP RI No. 22 Tahun 2021 untuk sampel air, untuk mendapatkan status cemaran Cu dan Pb. Berdasarkan hasil kajian, status cemaran Cu dan Pb di sedimen berada dalam kategori tidak tercemar (SQG US EPA). Dimana konsentrasi logam berat tertinggi berada pada stasiun 1 dengan konsentrasi Cu yaitu 10.99 ppm dan konsentrasi Pb yaitu 0.03 ppm. Sedangkan status cemaran Cu dalam perairan berada dalam kategori aman dengan konsentrasi Cu pada semua stasiun yaitu 0.01 ppm. Sementara itu, status Pb dalam perairan berada di atas baku mutu dan tercemar berdasarkan PP RI No. 22 Tahun 2021, dengan konsentrasi Pb pada ketiga stasiun yaitu 1.00 ppm, 1.20 ppm dan 1.60 ppm. Konsentrasi logam berat terutama Pb di perairan dapat mempengaruhi ekosistem akuatik, prioritas penanganan dan penelitian lebih lanjut sangat diperlukan untuk mengupayakan teknologi remediasi logam berat di perairan PTES.

Kata kunci: Logam Berat, Tembaga, Timbal, Sedimen, Tanjung Emas

ABSTRACT

The contamination of heavy metals, particularly copper (Cu) and lead (Pb), in the waters of Tanjung Emas Port, Semarang (PTES), is primarily attributed to maritime operations, industrial processes, and domestic waste. This pollution poses significant threats to the sustainability of aquatic ecosystems and the well-being of surrounding communities. Therefore, an in-depth assessment of Cu and Pb pollution in PTES waters is urgently needed. This study aimed to obtain up-to-date data on concentrations and contamination status of Cu and Pb in PTES water and sediments. The research methodology involved measuring Cu and Pb concentrations in both sediment and water samples collected from three stations. The levels of Cu and Pb were determined using AAS. The obtained heavy metal concentration data were compared against the Sediment Quality Guidelines (SQG) set by the US EPA for sediment samples, and the Indonesian Government Regulation (PP R1) No. 22 of 2021 for water samples. The study revealed that the contamination status of Cu and Pb in sediments was classified as "unpolluted" based on the SQG US EPA. The highest concentrations were recorded at Station 1, with Cu at 10.99 ppm and Pb at 0.03 ppm. Copper contamination in water samples from all stations was found to be within safe limits. However, Pb concentrations in water samples exceeded the quality standards set by PP RI No. 22 Tahun 2021, indicating a polluted status. Pb concentrations were recorded at 1.00 ppm, 1.20 ppm, and 1.60 ppm across the three sampling stations, respectively. The elevated levels of Pb in the aquatic environment could significantly impact the local ecosystem, highlighting the urgent need for prioritizing mitigation measures and advancing further research for developing and implementing effective heavy metal remediation technologies in the waters of PTES.

Keywords: Heavy Metals, Copper, Lead, Sediment, Tanjung Emas

Citation: Purnomo, E., Kusumaningrum, H. P., Budiharjo, A., dan Lunggani, A. T. (2025). Tingkat Kontaminasi Tembaga dan Timbal pada Perairan Pelabuhan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(5), 1378-1384, doi:10.14710/jil.23.5.1378-1384

1. PENDAHULUAN

Perairan Pelabuhan Tanjung Emas Semarang (PTES) merupakan kawasan perairan di pesisir utara provinsi Jawa Tengah. Kawasan ini merupakan kawasan pelabuhan aktif, industri, kawasan padat penduduk dan muara beberapa sungai (Prabawardani et al., 2024; Tjahjono, Wahyuni, et al., 2018). Masyarakat di kawasan ini banyak memanfaatkan hasil laut untuk di konsumsi dan memanfaatkan airnya untuk berbagai kegiatan domestik rumah tangga (Pradona & Partaya, 2022; Siringoringo et al., 2022). Padahal, aktivitas antropogenik seperti pelabuhan, industri dan limbah domestik di perairan ini tergolong tinggi. Hal ini berdampak pada tingginya resiko kontaminasi polutan berbahaya seperti logam berat yang dapat mengancam kesehatan masyarakat (Mitra et al., 2022).

Banyak kajian yang menyebutkan bahwa kontaminasi logam berat di perairan PTES mulai mempengaruhi ekosistem akuatik, dimana biota akuatik seperti kerang dan ikan terpapar oleh timbal dan tembaga. Kandungan logam berat kerang hijau (*Perna viridis*) dilaporkan telah melebihi ambang batas baku mutu yang diperbolehkan menurut Keputusan Pemerintah Indonesia No.22 Tahun 2021, dimana kadar tembaga (Cu) 1,864 mg/Kg dan kadar timbal (Pb) 0,697 mg/Kg (Siringoringo et al., 2022). Kemudian kandungan logam berat pada ikan bandeng (*Chanos chanos*) telah melebihi ambang batas baku mutu yang diperbolehkan Keputusan Pemerintah Indonesia No.22 Tahun 2021, dimana kadar Cu 0,15 ppm dan Pb 0,60 ppm (Martuti et al., 2024). Paparan polutan Cu dan Pb ini diduga berasal dari polusi yang masuk ke perairan PTES akibat aktivitas pelabuhan, buangan limbah industri dan limbah domestik. Aktivitas industri dan pelabuhan merupakan kontributor utama polusi logam berat yang berasal dari proses katalis industri dan air ballast kapal (Prayoga et al., 2022; Tjahjono, et al., 2018).

Polutan logam berat seperti Cu dan Pb dengan konsentrasi berlebih, dapat menimbulkan dampak negatif bagi keberlangsungan ekosistem akuatik dan kesehatan manusia (Das et al., 2023; Santhosh et al., 2024). Paparan logam Cu dan Pb pada biota akuatik seperti ikan mengalami peningkatan toksisitas seiring waktu yang dapat merusak DNA, memicu ekspresi gen pro-apoptosis (TNF- α , p53, IL-1 β dan SOD), menyebabkan kerusakan struktural hati dan menurunkan kelangsungan hidup embrio (Santhosh et al., 2024). Toksisitas Cu dan Pb pada mikroba perairan juga menyebabkan ketidakseimbangan ion, stress oksidatif, memicu kerusakan DNA, struktur membran lipid dan protein sitoplasma yang pada akhirnya mengarah pada penurunan laju metabolisme dan memicu kematian sel (Nnaji et al., 2024). Sedangkan efek toksisitas Cu dan Pb terhadap manusia yaitu memicu kerusakan sistem saraf, gangguan sistem reproduksi, kerusakan ginjal dan hati (Das et al., 2023).

Selain polutan berbahaya, logam Cu dan Pb juga bersifat tidak dapat terurai sehingga buangnya

akan terakumulasi di lingkungan seperti perairan sebagai alternatif buangan limbah akhir. Selain terakumulasi di kompartemen perairan, logam Cu dan Pb seiring waktu membentuk senyawa kompleks dengan material organik dan mengendap di dasar perairan (Bartoszek et al., 2022). Logam berat yang terakumulasi ini dapat menyebabkan perubahan kualitas air, meningkatkan toksisitas pada biota akuatik hingga dapat mengganggu organisme akuatik yang penting secara ekologi (Prayoga et al., 2022). Selain itu keberadaan logam berat pada kompartemen sedimen dapat menghambat proses biokimia yang penting dalam biodegradasi bahan organik, sehingga mengganggu proses pemurnian air (Bartoszek et al., 2022).

Status cemaran logam Cu dan Pb dalam sedimen dan air dapat digunakan untuk mengukur tingkat kontaminasi logam Cu dan Pb (Nugraha et al., 2022). Sebagaimana dalam penelitian oleh Khotimah et al. (2022) yang mengkaji tingkat cemaran logam berat Pb dan Cu pada sedimen di perairan Sungai Genuk Semarang dan berhasil mendapatkan data aktual terkait cemaran logam Cu dan Pb. Sedangkan dalam penelitian oleh Mahidin et al. (2021) yang mengkaji tingkat cemaran logam berat di distrik Bireuen Aceh Utara pada kompartemen perairan dan sedimen. Sehingga, konsentrasi polutan logam berat pada kompartemen sedimen dan perairan, sangat efektif untuk mengkaji status kontaminasi logam berat Cu dan Pb. Data cemaran ini sangat penting dalam rangka menyusun strategi penanggulangan dan remediasi lingkungan ekologi, mendorong pembangunan yang berkelanjutan dan menjamin keselamatan dan kesehatan masyarakat setempat di wilayah PTES.

Kajian status cemaran logam berat di perairan PTES pernah dilakukan oleh Tjahjono et al. (2018) dimana pengukuran cemaran Pb dan Cu dilakukan pada tahun 2015. Penelitian berikutnya dilakukan oleh Wibisono et al. (2022) yang mengukur kadar Cu dan Pb pada kompartemen perairan dan sedimen perairan PTES yang dilakukan pada tahun 2016. Kemudian Martuti et al. (2024) juga melakukan pengukuran kadar Cu dan Pb pada tahun 2022 tetapi hanya menggunakan sampel air dan lokasi sampling yang berada di sisi Timur PTES di daerah perairan Tambak Lorok Semarang. Oleh karena itu, pengukuran polutan Cu dan Pb di daerah perairan PTES yang dekat dengan muara Kali Baru Semarang belum pernah dilakukan kembali selama 9 tahun terakhir. Menimbang aktivitas antropogenik terus terjadi hingga saat ini, maka akumulasi polutan Cu dan Pb diperkirakan semakin tinggi dan beresiko meningkatkan ancaman terhadap keberlangsungan ekosistem akuatik dan masyarakat sekitar Tanjung Emas Semarang.

Berdasarkan permasalahan tersebut, kajian status polutan Cu dan Pb di perairan PTES sangat penting untuk dilakukan. Kajian ini bertujuan untuk memperoleh data terbaru terkait analisis konsentrasi polutan logam berat Cu dan Pb di air dan sedimen perairan Pelabuhan Tanjung Emas Semarang. Data

yang diperoleh juga akan dibandingkan dengan standar kualitas lingkungan terhadap polutan logam berat di perairan, sehingga status kontaminasi logam Cu dan Pb dapat diketahui.

2. METODE PENELITIAN

Metode Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh status kontaminasi polutan logam berat Cu dan Pb di perairan PTES. Penelitian ini berlangsung dari bulan Desember 2024 hingga Februari 2025. Tahapan penelitian ini meliputi penentuan lokasi sampling, pengambilan sampel, pengukuran logam berat dan analisis data hasil. Penentuan lokasi sampling bertujuan untuk memperoleh jumlah titik yang representatif menggambarkan kondisi aktual polutan, pengambilan sampel bertujuan untuk mendapatkan sampel yang akan dianalisis, sedangkan pengukuran logam berat dan analisis bertujuan untuk memperoleh kadar dan status logam berat Cu dan Pb di perairan PTES. Sementara itu, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *Ekman Grab*, botol sampel steril, *ice box*, *gel ice*, dan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS).

2.1. Lokasi dan Waktu

Pengambilan sampel berlokasi di perairan Pelabuhan Tanjung Emas Semarang (PTES) pada bulan Desember 2024. Sampel air dan sedimen diambil dari 3 (tiga) titik lokasi berbeda sekitar perairan PTES, yaitu depan muara Kali Baru (stasiun 1), perairan sekitar sandaran kapal (stasiun 2) dan perairan yang dekat dengan buangan limbah industri (stasiun 3), sebagaimana yang ditampilkan dalam Gambar 1.

2.2. Metode

Sampel air diambil menggunakan *water sampler* sebanyak 300 ml. Sampel air disimpan dalam botol sampel steril dan dijaga pada suhu rendah dalam *ice box*. Sampel air kemudian dianalisis kadar logam Cu dan Pb-nya menggunakan metode alat AAS dengan metode Standar Nasional Indonesia (SNI) 6989.8:2009 di Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro.

Sampel sedimen diambil menggunakan alat *Ekman Grab* sebanyak 400 ml dan disimpan dalam botol sampel steril. Sampel sedimen kemudian disimpan dalam *ice box* untuk mempertahankan sampel pada suhu rendah. Kadar logam Cu dan Pb dari sampel sedimen dianalisis menggunakan alat AAS dengan metode SNI 6989.8:2009 di Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.

2.3. Analisis Data

Data kadar logam berat Cu dan Pb yang telah diperoleh dalam penelitian ini kemudian dibandingkan dengan standar kualitas lingkungan untuk polutan logam berat Cu dan Pb. Parameter logam berat sedimen dibandingkan dengan panduan kualitas sedimen (*Sediment Quality Guidelines, SQG*) dari *U.S. Environmental Protection Agency* (US EPA). Referensi standar kualitas logam berat sedimen menurut USEPA sebagaimana ditampilkan dalam Tabel 1. Sedangkan data parameter kualitas logam berat air dibandingkan dengan standar kualitas perairan dari Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PP RI) Nomor 22 Tahun 2021. Adapun referensi standar kualitas logam berat Cu dan Pb di air menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia sebagaimana ditampilkan dalam Tabel 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Sampling di Perairan Pelabuhan Tanjung Emas Semarang

Tabel 1. Standar Kualitas Sedimen dan Air

Standar kualitas sedimen berdasarkan US EPA			
Logam Berat	Konsentrasi (ppm)		
	Tidak Tercemar	Tercemar Ringan	Tercemar Berat
Cu	<25	25-75	>75
Pb	<40	40-60	>60

Standar kualitas air berdasarkan PP RI No. 22 Tahun 2021.	
Logam Berat	Konsentrasi (ppm)
Cu	≤0.02
Pb	≤0.3

Sumber data dari SQG US EPA dan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021

Tabel 2. Hasil Analisis Kandungan Logam Berat Cu dan Pb dari Sampel Sedimen dan Air

Stasiun	Logam Berat	Konsentrasi Logam di Sedimen (ppm)	SQG US EPA (ppm)	Keterangan	Konsentrasi Logam di Air (ppm)	PP RI No. 22 Th. 2021 (ppm)	Keterangan
1	Cu	10.99	<25	Tidak Tercemar	0.01	<0.02	Tidak Tercemar
	Pb	0.03	<40	Tidak Tercemar	1.00	>0.30	Tercemar
2	Cu	0.02	<25	Tidak Tercemar	0.01	<0.02	Tidak Tercemar
	Pb	0.03	<40	Tidak Tercemar	1.20	>0.30	Tercemar
3	Cu	0.02	<25	Tidak Tercemar	0.01	<0.02	Tidak Tercemar
	Pb	0.03	<40	Tidak Tercemar	1.60	>0.30	Tercemar

*Sumber data diperoleh dari hasil analisis AAS

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kontaminasi Tembaga dan Timbal di Sedimen

Berdasarkan hasil studi ini menunjukkan bahwa logam berat Cu dan Pb yang terakumulasi dalam sedimen perairan PTES di semua stasiun pengamatan masuk dalam kategori tidak tercemar (SQG US EPA) sebagaimana terlihat dalam Tabel 2. Kandungan logam Cu dari ketiga stasiun sampling memiliki jumlah yang berbeda. Kandungan Cu tertinggi didapatkan dari sedimen stasiun 1 dibandingkan dengan stasiun lainnya. Hal ini dapat diakibatkan karena lokasi stasiun 1 berada tepat di depan muara Kali Baru Semarang yang merupakan muara dari berbagai polutan antropogenik yang terbawa sepanjang aliran sungai. Sedangkan stasiun 2 dan 3 memiliki lokasi yang berhadapan langsung dengan laut terbuka, yang menjadikan polutan lebih mudah tersebar dan terbawa aliran air laut. Sedangkan kandungan logam Pb di sedimen yang terakumulasi dalam sedimen di semua stasiun pengamatan berada dalam kategori tidak tercemar (SQG US EPA). Semua data Pb sama untuk semua stasiun yaitu 0.03 ppm.

Kandungan Cu dan Pb dalam penelitian ini lebih rendah dari kandungan Pb yang diamati sebelumnya, dimana konsentrasi Cu dan Pb dalam sedimen masing-masing mencapai 19.84 ppm dan 15.51 ppm (Wibisono et al., 2022). Hal ini dapat diakibatkan oleh adanya pengerukan sedimen rutin oleh otoritas setempat di perairan PTES untuk menjaga kedalaman perairan yang penting sebagai lalu lintas pelayaran kapal. Pengerukan ini dilakukan hingga kedalam 10 meter (Firdaus et al., 2013). Kebijakan ini tercantum dalam Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 125 Tahun 2018 terkait Pengerukan dan Reklamasi, dimana aktivitas ini, rutin dilakukan setiap tahun, khususnya pada pelabuhan komersial seperti Pelabuhan Tanjung Emas Semarang untuk menjaga konsistensi desain Rencana Induk

Pelabuhan (RIP). lapisan sedimen yang terambil selama pengerukan merupakan lapisan paling atas dengan paparan logam berat tertinggi, sedangkan lapisan sedimen yang tersisa dan terambil selama sampling merupakan lapisan sedimen bagian sedimen bawah yang memiliki paparan polutan Cu dan Pb lebih sedikit (Algül & Beyhan, 2020; Galkus et al., 2012; Sedláček et al., 2024).

Logam tembaga dan timbal yang terakumulasi di sedimen perairan berasal dari aktivitas antropogenik. Polutan tembaga dapat berasal dari limbah industri (industri logam, elektronik, cat dan tekstil), limpasan pertanian (pestisida), sistem drainasi perkotaan (korosi pipa), limbah rumah tangga (suplemen makanan, kosmetik dan farmasi), aktivitas pelayaran dan perkapalan (penggunaan antifouling) (Comber et al., 2023; Liu et al., 2024). Sedangkan polutan timbal dapat bersumber dari aktivitas pertambangan, industri logam, emisi kendaraan, limbah baterai dan penggunaan cat antifouling pada kapal (Raj & Das, 2023; Torres & De-la-Torre, 2021).

Logam berat Cu dan Pb yang terakumulasi di sedimen memiliki dampak negatif bagi ekosistem perairan. Berdasarkan kajian dari Siringoringo et al. (2022), menemukan polutan logam Cu dan Pb mengakibatkan daging *Perna viridis* terpapar Cu dan Pb masing-masing 1.96 ppm dan 0.73 ppm. Kadar konsentrasi ini sudah melebihi baku mutu yang diperbolehkan oleh PP RI No. 22 Tahun 2021 untuk bahan pangan, dimana baku mutu Cu dan Pb masing-masing yaitu 0.1 ppm dan 0.3 ppm. Keberadaan logam Pb di sedimen dapat mempengaruhi organisme akuatik seperti gastropoda, dimana paparan ini dapat meningkatkan toksisitas dan dampak negatif terhadap pertumbuhan (Latupeirissa et al., 2025). Selain itu, paparan Cu di sedimen berdampak negatif terhadap biotek benthik, dimana paparan Cu dapat menurunkan keragaman spesies, mengganggu fungsi biologis dan merusak jaringan organisme (Encina-

Montoya et al., 2025). Paparan Cu dan Pb di sedimen juga berdampak negatif terhadap kelimpahan komunitas bakteri sedimen yang penting dalam siklus karbon dan nitrogen (Li et al., 2020).

3.2. Kontaminasi Tembaga dan Timbal di Air

Berdasarkan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat Cu dan Pb dalam air di perairan PTES memiliki status kontaminasi yang berbeda berdasarkan standar kualitas perairan oleh PP RI No. 22 Tahun 2021 (Tabel 2). Kadar logam Cu di semua stasiun pengamatan, memiliki kadar Cu yang berada di batas aman baku mutu (<0.02 ppm). Sehingga air di perairan PTES belum termasuk tercemar oleh logam berat tembaga. Sedangkan kadar logam Pb di semua stasiun pengamatan, memiliki kadar Pb di atas ambang batas baku mutu yang diperbolehkan menurut PP RI No. 22 Tahun 2021 (0.30 ppm). Sehingga air di perairan PTES masuk dalam kategori tercemar oleh logam berat timbal. Kadar logam Pb tertinggi berada di stasiun 3 (1.6 ppm), yang diakibatkan oleh lokasi stasiun 3 berada tepat di lokasi pembuangan limbah industri (garmen, tekstil dan minyak) dan paling dekat dengan lokasi utama pelabuhan kapal kargo.

Kandungan Cu dan Pb dalam penelitian ini memiliki perubahan data dibandingkan dengan kajian sebelumnya. Logam Cu mengalami penurunan yang signifikan dibandingkan dengan pengukuran sebelumnya tahun 2016, dimana dari konsentrasi 0.07 ppm (Wibisono et al., 2022) turun menjadi 0.01 ppm. Sedangkan logam Pb mengalami peningkatan dibandingkan dengan pengukuran sebelumnya pada tahun 2016 (Wibisono et al., 2022), dimana dari konsentrasi 0.5 ppm naik menjadi 1.2 ppm.

Akumulasi logam Cu dan Pb di perairan disebabkan utamanya oleh berbagai aktivitas antropogenik. Logam Cu dapat berasal dari penggunaan cat kapal antifouling (Lagerström et al., 2020), emisi bahan bakar, limbah domestik, pupuk pertanian, pestisida, farmasi, dan polutan industri seperti pewarna tekstil (Elkhatat et al., 2021; Wołowicz et al., 2019). Sementara timbal dapat bersumber dari proses industri, bahan bakar, pelapisan logam, pestisida, cat, korosi pipa, baterai, limbah domestik dan limbah pembakaran (Abubakar, 2024).

Perubahan data Cu dan Pb di perairan Pelabuhan Tanjung Emas antara tahun 2016 (Wibisono et al., 2022) dan pengukuran terbaru dalam penelitian ini, mencerminkan dinamika multifaktorial. Penurunan Cu kemungkinan disebabkan oleh regulasi ketat penggunaan cat antifouling ramah lingkungan (Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Laut Nomor KP-DJPL 627 TAHUN 2022) dan proses alamiah seperti sedimentasi (Zhao et al., 2024). Sebaliknya, kenaikan Pb lebih mungkin diakibatkan oleh peningkatan aktivitas maritim, pelepasan air balas dari kapal komersial (Tjahjono, Bambang, et al., 2018), serta masukan limbah industri dan rumah tangga yang berkelanjutan dari area sekitar pelabuhan (Hatter et al., 2025; Zhu et al., 2025).

1382

Cemaran logam Cu dan Pb berdampak negatif pada ekosistem perairan. Berdasarkan kajian dari Martuti et al. (2024), menemukan polutan logam Cu dan Pb dari perairan mengakibatkan daging *mikfish* terpapar Cu dan Pb masing-masing 0.15 ppm dan 0.6 ppm. Kadar konsentrasi ini sudah melebihi baku mutu yang diperbolehkan oleh PP RI No. 22 Tahun 2021 untuk bahan pangan, dimana baku mutu Cu dan Pb masing-masing yaitu 0.1 ppm dan 0.3 ppm. Toksisitas Cu pada biotak akuatik menyebabkan kerusakan DNA akibat stress oksidatif, gangguan fungsi seluler dan kerusakan insang, mengganggu indra penciuman dan gangguan reproduksi (Botté et al., 2022; Mebane, 2023). Sedangkan toksisitas Pb pada biota akuatik mengganggu sistem neurotransmitter dan sistem imun (Ishaque et al., 2020). Selain itu, cemaran Cu dan Pb juga dapat mempengaruhi fungsi dan diversitas mikroba dengan meningkatkan jumlah bakteri yang resisten antibiotik (Folvarska et al., 2024).

4. KESIMPULAN

Perairan Pelabuhan Tanjung Emas Semarang mengalami akumulasi Cu dan Pb di lapisan sedimen dan perairan. Status cemaran Cu dan Pb di sedimen berada dalam kategori tidak tercemar (SQG US EPA). Sedangkan status cemaran Cu dalam perairan berada dalam kategori aman dan status Pb dalam perairan berada di atas baku mutu berdasarkan PP RI No. 22 Tahun 2021. Akumulasi logam berat di perairan Tanjung Emas Semarang berasal dari limbah industri, aktivitas pelabuhan, dan limbah domestik perkotaan. Konsentrasi logam berat terutama Pb di perairan dapat mempengaruhi ekosistem akuatik, prioritas penanganan lebih lanjut sangat diperlukan dan penelitian lanjutan dibutuhkan untuk mengupayakan teknologi remediasi logam berat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian Tesis Magister S2 Biologi yang didanai oleh beasiswa Universitas Diponegoro tahun 2024-2025 dengan SK Perjanjian Tugas Belajar Universitas Diponegoro No. 665/UN7.A2/UP/IX/2024, dan SK Tugas Belajar No. 79/UN7.A/KP/IX/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar, U. S. (2024). Copper and lead as environmental pollutant and their elemental toxicity – a review. *Science World Journal*, 19(2), 342–346. <https://doi.org/10.4314/swj.v19i2.8>
- Algül, F., & Beyhan, M. (2020). Concentrations and sources of heavy metals in shallow sediments in Lake Bafa, Turkey. *Scientific Reports*, 10(1), 11782. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68833-2>
- Bartoszek, L., Gruca-Rokosz, R., Pękala, A., & Czarnota, J. (2022). Heavy Metal Accumulation in Sediments of Small Retention Reservoirs—Ecological Risk and the Impact of Humic Substances Distribution. *Resources*, 11(12), 113. <https://doi.org/10.3390/resources11120113>
- Botté, A., Seguin, C., Nahrgang, J., Zaidi, M., Guery, J., & Leignel, V. (2022). Lead in the marine environment:

- concentrations and effects on invertebrates. *Ecotoxicology*, 31(2), 194–207. <https://doi.org/10.1007/s10646-021-02504-4>
- Comber, S., Deviller, G., Wilson, I., Peters, A., Merrington, G., Borrelli, P., & Baken, S. (2023). Sources of copper into the European aquatic environment. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 19(4), 1031–1047. <https://doi.org/10.1002/ieam.4700>
- Das, S., Sultana, K. W., Ndhilala, A. R., Mondal, M., & Chandra, I. (2023). Heavy Metal Pollution in the Environment and Its Impact on Health: Exploring Green Technology for Remediation. *Environmental Health Insights*, 17. <https://doi.org/10.1177/11786302231201259>
- Elkhatat, A. M., Soliman, M., Ismail, R., Ahmed, S., Abounahia, N., Mubashir, S., Fouladi, S., & Khraisheh, M. (2021). Recent trends of copper detection in water samples. *Bulletin of the National Research Centre*, 45(1), 218. <https://doi.org/10.1186/s42269-021-00677-w>
- Encina-Montoya, F., Ramírez-Sánchez, E., Oberti-Grassau, C., Gallardo, C., Arias-Melgarejo, C., Esse, C., Mulsow, S., Mejias-Lagos, P., & Vega-Aguayo, R. (2025). Historical trend of ecological risk caused by copper sediment in Quintero Bay, Chile, associated with a copper smelter and refinery. *Marine Pollution Bulletin*, 211, 117410. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117410>
- Firdaus, S. R., Saputro, S., & Satriadi, A. (2013). Studi Pengerukan Alur Pelayaran Pelabuhan Tanjung Emas Semarang. *JURNAL OSEANOGRAFI*, 2(3).
- Folvarska, V., Thomson, S. M., Lu, Z., Adelgren, M., Schmidt, A., Newton, R. J., Wang, Y., & McNamara, P. J. (2024). The effects of lead, copper, and iron corrosion products on antibiotic resistant bacteria and antibiotic resistance genes. *Environmental Science: Advances*, 3(6), 808–818. <https://doi.org/10.1039/D4VA00026A>
- Galkus, A., Joksas, K., Stakeniene, R., & Lagunaviciene, L. (2012). Heavy Metal Contamination of Harbor Bottom Sediments. *Polish Journal of Environmental Studies*, 21(6), 1583–1594.
- Hatter, A., Heintzelman, D. P., Heminghaus, M., Foglein, J., Meenar, M., & Moore, E. K. (2025). Heavy Metal Mobilization in Urban Stormwater Runoff from Residential, Commercial, and Industrial Zones. *Pollutants*, 5(4), 32. <https://doi.org/10.3390/pollutants5040032>
- Ishaque, A., Ishaque, S., Arif, A., & Abbas, H. (2020). TOXIC EFFECTS OF LEAD ON FISH AND HUMAN. *Biological and Clinical Sciences Research Journal*, 2020(1). <https://doi.org/10.54112/bcsrj.v2020i1.47>
- Khotimah, H., Rochaddi, B., & Wulandari, S. Y. (2022). Analisis Konsentrasi Logam Berat (Pb dan Cu) Pada Sedimen di Perairan Muara Sungai Genuk, Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 25(3), 463–470. <https://doi.org/10.14710/jkt.v25i3.16716>
- Lagerström, M., Ytreberg, E., Wiklund, A.-K. E., & Granhag, L. (2020). Antifouling paints leach copper in excess – study of metal release rates and efficacy along a salinity gradient. *Water Research*, 186, 116383. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116383>
- Latupeirissa, C. M.-E., Haryati, A., Winanto, T., Fikriyya, N., Prihatiningsih, I., Januar, H. I., & Putri, W. A. E. (2025). Lead (Pb) Contamination in Sediments and the Potential of Gastropods as Bioindicators of Pb in Mangrove Forests, Mojo Village, Pemalang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 28(1), 139–150. <https://doi.org/10.14710/jkt.v28i1.25143>
- Li, C., Quan, Q., Gan, Y., Dong, J., Fang, J., Wang, L., & Liu, J. (2020). Effects of heavy metals on microbial communities in sediments and establishment of bioindicators based on microbial taxa and function for environmental monitoring and management. *Science of The Total Environment*, 749, 141555. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141555>
- Liu, Z., Sang, J., Zhu, M., Feng, R., & Ding, X. (2024). Prediction and countermeasures of heavy metal copper pollution accident in the Three Gorges Reservoir Area. *Journal of Hazardous Materials*, 465, 133208. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.133208>
- Mahidin, M., Zaki, M., Gani, A., Mariana, M., Irham, M., Idami, Z., Erdiwansyah, E., Afwanudin, A., & Akbar, A. (2021). Investigation of heavy metals on water quality and sediment: A case study Bireuen, Aceh Utara and Lhokseumawe City. *Jurnal Kimia Valensi*, 6(2), 177–184. <https://doi.org/10.15408/jkv.v6i2.15745>
- Martuti, N. K. T., Falisah, D. F., Sidiq, W. A. B. N., Melati, I. S., Mutiatari, D. P., & Nayam, N. (2024). Bioconcentration of Heavy Metals in Milkfish Reared in Stick-Net Pens System: Implications for Open Water Environmental Contamination and Food Safety. *Biosaintifika Journal of Biology & Biology Education*, 16(1). <https://doi.org/10.15294/biosaintifika.v15i1.3501>
- Mebane, C. A. (2023). Bioavailability and Toxicity Models of Copper to Freshwater Life: The State of Regulatory Science. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 42(12), 2529–2563. <https://doi.org/10.1002/etc.5736>
- Mitra, S., Jyoti, A., Montakim, A., Bin, T., Nainu, F., Khusro, A., Idris, A. M., Uddin, M., Osman, H., Alhumaydhi, F. A., & Simal-gandara, J. (2022). Journal of King Saud University – Science Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity. *Journal of King Saud University - Science*, 34(3), 101865. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.101865>
- Nnaji, N. D., Anyanwu, C. U., Miri, T., & Onyeaka, H. (2024). Mechanisms of Heavy Metal Tolerance in Bacteria: A Review. *Sustainability (Switzerland)*, 16(24), 1–22. <https://doi.org/10.3390/su16241124>
- Nugraha, M. A., Pamungkas, A., Syari, I. A., Sari, S. P., Umroh, U., 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>
- Prabawardani, D. R., Aprijanto, Prijambodo, T., Fauzi, I., Airawati, M. N., Al Hakim, B., Ariyanto, D., Santosa, M. A., Irfani, M., Prasetyo, R. B., Yulianto, F., Putri, N. C., Sukmana, C. I., Cholishoh, E., Aji, C. M., Kustiyanto, E., Wibawa, B., Rahili, N., & Sutopo, J. (2024). Port and coastal management against climate change: A case study of Tanjung Emas port Semarang, Central Java, Indonesia. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 24(1), 55–71. <https://doi.org/10.5894/rgci-n590>
- Pradana, S., & Partaya. (2022). Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Daging Ikan di Tanjung Mas Semarang. *Life Science*, 11(2), 143–150. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/LifeSci>
- Prayoga, G., Utomo, B. A., & Effendi, H. (2022). Heavy Metals Contamination and Water Quality Parameter

- Conditions in Jatiluhur Reservoir, West Java, Indonesia. *BIOTROPIA*, 29(1).
https://doi.org/10.11598/btb.2022.29.1.1443
- Raj, K., & Das, A. P. (2023). Lead pollution: Impact on environment and human health and approach for a sustainable solution. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 5, 79–85.
https://doi.org/10.1016/j.enceco.2023.02.001
- Santhosh, K., Kamala, K., Ramasamy, P., Musthafa, M. S., Almuji, S. S., Asdaq, S. M. B., & Sivaperumal, P. (2024). Unveiling the silent threat: Heavy metal toxicity devastating impact on aquatic organisms and DNA damage. *Marine Pollution Bulletin*, 200, 116139.
https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116139
- Sedláček, J., Kopecká, K., & Koukal, O. (2024). Pollution trends in a protected fluvial landscape located in a highly industrialized Ostrava urban agglomeration; Rezavka Nature Reserve, Czech Republic. *Environmental Earth Sciences*, 83(19), 551.
https://doi.org/10.1007/s12665-024-11866-x
- Siringoringo, V. T., Pringgenies, D., & Ambariyanto, A. (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
- Tjahjono, A., Bambang, A. N. ., & Anggoro, S. (2018). Plankton And Heavy Metal Correlation From Commercial Vessels In Port Of Tanjung Emas Semarang. *E3S Web of Conferences*, 31, 06004.
https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183106004
- Tjahjono, A., Wahyuni, O., & Purwantini, S. (2018). The Assessment of Biological and Pollution Index of Estuaries Around Port of Tanjung Emas Semarang. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 116(1), 12087.
https://doi.org/10.1088/1755-1315/116/1/012087
- Torres, F. G., & De-la-Torre, G. E. (2021). Environmental pollution with antifouling paint particles: Distribution, ecotoxicology, and sustainable alternatives. *Marine Pollution Bulletin*, 169, 112529.
https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112529
- Wibisono, Y., Tjahjono, A., Sugiharto, R., & Wahyuni, O. (2022). Factors Affecting Water Quality and Surface Sediment at the Port of Tanjung Emas Semarang during the East Asian Monsoon. *Journal of Hunan University Natural Sciences*, 49(10), 218–231.
https://doi.org/10.55463/issn.1674-2974.49.10.23
- Wołowicz, M., Komorowska-Kaufman, M., Pruss, A., Rzepa, G., & Bajda, T. (2019). Removal of Heavy Metals and Metalloids from Water Using Drinking Water Treatment Residuals as Adsorbents: A Review. *Minerals*, 9(8), 487.
https://doi.org/10.3390/min9080487
- Zhao, S., Zhao, Y., Cui, Z., Zhang, H., & Zhang, J. (2024). Effect of pH, Temperature, and Salinity Levels on Heavy Metal Fraction in Lake Sediments. *Toxics*, 12(7), 494.
https://doi.org/10.3390/toxics12070494
- Zhu, W., Cai, J., Ma, W., Li, B., & Feng, W. (2025). Distribution, sources and risk assessment of heavy metals in Yangshan port and its adjacent sea areas. *Frontiers in Marine Science*, 11.
https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1512115