

Analisis Konsentrasi Logam Berat pada Sedimen dan Air Laut di Perairan Selat Rupert

Alan Krisbiantoro ^{✉1)}, Sri Fitrya Retnawaty¹⁾, Yulia Fitri¹⁾, Kurniati Utami¹⁾

¹⁾ Jurusan Fisika, Fakultas Matematika, Ilmu Pengetahuan Alam dan Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Riau, Indonesia

Info Artikel

Diterima:
21 April 2025
Disetujui:
20 Oktober 2025
Dipublikasikan:
30 November 2025

Keywords:

Heavy metals; Rupert Strait; sediment
Logam berat; Selat Rupert; sedimen

Abstract

The Rupert Strait, located between Dumai City and Rupert Island in Riau Province, Indonesia, is an area with high industrial activity, including oil processing and maritime transportation. These activities contribute to the release of various pollutants, particularly heavy metals, into the marine environment. This study aimed to analyze the concentration of heavy metals (Pb, Cd, Cu, Fe, and Zn) in seawater and sediment samples to assess the extent of contamination and potential ecological risks. A total of nine observation stations and one control station were selected using purposive sampling. Field measurements of physical and chemical parameters were conducted in situ, while laboratory analyses of metal concentrations were performed using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). The results showed that heavy metals were present at varying levels across all stations. The highest concentration was found for iron (Fe) in sediment at Station 9, reaching 18,476 ppm, while the lowest was cadmium (Cd) in seawater, with an average concentration of 0.001 ppm. Overall, metal concentrations in sediment were significantly higher than in seawater. These findings indicate a potential threat to benthic organisms and call for regular environmental monitoring. The study contributes valuable baseline data for marine pollution management and policy development in the Rupert Strait region.

Abstrak

Selat Rupert, yang terletak di antara Kota Dumai dan Pulau Rupert di Provinsi Riau, Indonesia, merupakan kawasan dengan aktivitas industri yang tinggi, termasuk pengolahan minyak dan transportasi laut. Aktivitas ini berkontribusi terhadap pelepasan berbagai polutan, khususnya logam berat, ke lingkungan laut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsentrasi logam berat (Pb, Cd, Cu, Fe, dan Zn) dalam sampel air laut dan sedimen untuk menilai tingkat kontaminasi dan potensi risiko ekologis. Sebanyak sembilan stasiun pengamatan dan satu stasiun kontrol dipilih secara purposive sampling. Pengukuran lapangan parameter fisik dan kimia dilakukan secara in situ, sedangkan analisis laboratorium konsentrasi logam dilakukan dengan menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa logam berat hadir pada tingkat yang bervariasi di semua stasiun. Konsentrasi tertinggi ditemukan untuk besi (Fe) dalam sedimen di Stasiun 9, mencapai 18.476 ppm, sedangkan yang terendah adalah kadmium (Cd) di air laut, dengan konsentrasi rata-rata 0,001 ppm. Secara keseluruhan, konsentrasi logam dalam sedimen secara signifikan lebih tinggi daripada di air laut. Temuan ini menunjukkan potensi ancaman terhadap organisme dasar dan memerlukan pemantauan lingkungan secara berkala. Studi ini memberikan data dasar yang berharga untuk pengelolaan polusi laut dan pengembangan kebijakan di wilayah Selat Rupert.

© 2025 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:
Jl. Wijaya, Perum PIP no. A5, Rumbai Timur, Pekanbaru, Riau
E-mail: alank260199@gmail.com

p-ISSN 2252-6277
e-ISSN 2528-5009

PENDAHULUAN

Selat Rupaat merupakan jalur perairan sempit yang memisahkan Pulau Rupaat dan pesisir Kota Dumai di Provinsi Riau. Selat ini memiliki panjang sekitar 72,4 km dengan lebar bervariasi antara 3,8 hingga 8 km, serta menjadi salah satu kawasan penting dalam mendukung kegiatan ekonomi, transportasi laut, dan industri migas di wilayah timur Pulau Sumatera (Retnawaty *et al.*, 2023). Letaknya yang strategis membuat kawasan ini berkembang menjadi pusat aktivitas manusia, baik industri, pelayaran, maupun permukiman, yang turut memberikan tekanan terhadap ekosistem perairan. Aktivitas antropogenik di wilayah pesisir, seperti kegiatan pelayaran, pembuangan limbah industri, dan urbanisasi pesisir, diketahui menjadi faktor utama peningkatan beban pencemar di lingkungan laut Indonesia (Adyasari *et al.*, 2021). Penelitian di kawasan pesisir Asia Tenggara juga menunjukkan bahwa akumulasi logam berat pada sedimen pesisir erat kaitannya dengan intensitas aktivitas industri dan pelayaran di sekitar pelabuhan dan kawasan industri (Yunus *et al.*, 2020).

Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kawasan pesisir yang terpapar aktivitas industri dan pelayaran cenderung mengalami peningkatan kandungan logam berat. Yap dan Al-Mutairi (2022) menjelaskan bahwa wilayah pesisir di negara-negara ASEAN mengalami akumulasi logam berat seperti Cu, Pb, dan Zn akibat intensifikasi aktivitas manusia di sekitar pelabuhan dan kawasan industri. Bhuyan *et al.* (2023) juga melaporkan bahwa sedimen pantai di wilayah tropis menunjukkan tingkat kontaminasi logam berat yang tinggi pada area dengan aktivitas industri dan pelayaran intensif. Di kawasan pesisir Tiongkok, Wu *et al.* (2022) dan Gu *et al.* (2022) menemukan bahwa urbanisasi pesisir serta kegiatan industri berkontribusi signifikan terhadap peningkatan kadar Cu, Zn, dan Pb dalam sedimen laut. Hasil serupa diperoleh Kontas *et al.* (2020) di Teluk Edremit, Laut Aegean, Turki, di mana sedimen mengandung logam berat seperti Hg, Cd, Pb, Cu, Zn, dan Al dengan tingkat kontaminasi sedang hingga tinggi, yang berpotensi menimbulkan risiko ekologis terhadap organisme akuatik. Zhu *et al.* (2020) juga melaporkan bahwa sedimen di Laut Bohai, Tiongkok, memiliki konsentrasi tinggi logam berat Cd, Cu, dan Pb pada lebih dari 400 titik pengamatan, menunjukkan dampak signifikan dari aktivitas industri pesisir dan aliran limbah daratan.

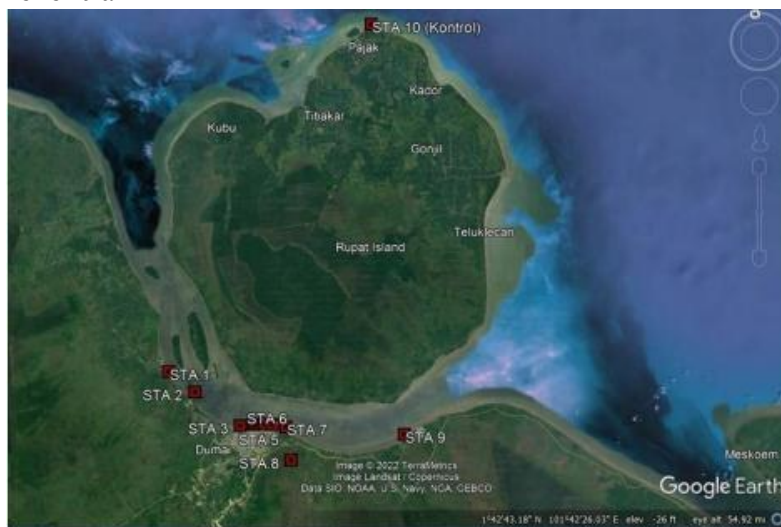
Di Indonesia, khususnya di Selat Rupaat, kajian terhadap kandungan logam berat masih terbatas, meskipun berbagai penelitian serupa telah banyak dilakukan di kawasan pesisir dunia. Retnawaty *et al.* (2023) melaporkan bahwa perairan Selat Rupaat tergolong pencemaran ringan hingga sedang, dengan nilai *Pollution Load Index* (PLI) berkisar antara 0,3 hingga 0,6. Namun, penelitian tersebut belum secara mendalam membahas hubungan antara konsentrasi logam berat dalam air laut dan sedimen, serta variasi spasial antar stasiun secara detail, termasuk perbandingan antara musim kemarau dan musim hujan, maupun lokasi yang berdekatan dengan sumber pencemar industri dan pelayaran. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa faktor musiman dan karakteristik antar kompartemen (air dan sedimen) berperan penting dalam menentukan distribusi logam berat di lingkungan pesisir. Januar *et al.* (2021) melaporkan bahwa konsentrasi logam berat seperti Pb dan Zn pada sedimen permukaan di wilayah pesisir Indonesia menunjukkan perbedaan signifikan antara musim hujan dan musim kemarau. Penelitian serupa juga

dikemukakan oleh Kongsri *et al.* (2023) di Teluk Pattani, Thailand, yang menemukan variasi spasial dan temporal logam berat pada air dan sedimen dengan nilai indeks pencemaran (PLI) dan derajat kontaminasi (*Contamination Degree/ CD*) yang berbeda antara musim basah dan kering. Selain itu, Wong *et al.* (2019) menjelaskan bahwa perbedaan parameter oseanografi seperti arus, salinitas, dan suhu turut memengaruhi mobilitas serta deposisi logam berat di lingkungan perairan tropis.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis konsentrasi logam berat pada air laut dan sedimen di kawasan industri Selat Rupert. Penelitian ini bertujuan memberikan gambaran distribusi logam berat seperti Pb, Cd, Cu, Fe, dan Zn pada dua kompartemen utama (air dan sedimen), serta mengevaluasi tingkat pencemaran yang terjadi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi landasan ilmiah dalam upaya pemantauan dan pengelolaan lingkungan pesisir secara berkelanjutan, khususnya di Provinsi Riau.

METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian



Gambar 1. Peta lokasi pengambilan sampel
Ket: STA = Stasiun Pengamatan

Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan Maret sampai dengan Bulan Juli 2023. Lokasi penelitian dilaksanakan di kawasan industri minyak bumi perairan Selat Rupert. Lokasi ini dibagi menjadi sembilan stasiun pengamatan dan satu stasiun kontrol. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Analisis sampel bahan organik dilakukan di Laboratorium Kimia Terpadu Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Riau, serta analisis sampel sedimen dilaksanakan di Laboratorium Kimia Laut Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Riau.

Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Titik pengambilan sampel ditentukan menggunakan metode *purposive sampling*, karena pendekatan ini memungkinkan pemilihan lokasi berdasarkan potensi paparan terhadap aktivitas pencemar seperti industri dan pelayaran. Teknik ini efektif untuk memaksimalkan variasi data di area yang diduga mengalami pencemaran. Analisis kandungan logam berat dilakukan menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (AAS), karena metode ini memiliki sensitivitas dan spesifisitas tinggi untuk mendeteksi

logam berat dalam kadar sangat rendah, serta telah banyak digunakan sebagai standar dalam analisis lingkungan air dan sedimen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Umum Lokasi Penelitian

Selat Rupaat merupakan sebuah perairan yang terletak di antara kota Dumai dan Pulau Rupaat dengan posisi geografis pada garis lintang $1^{\circ} 41'37''$ - $1^{\circ} 43'19''$ LU dan garis bujur $101^{\circ} 24'15''$ - $101^{\circ} 27'08''$ BT. Luas Selat ini mencapai sekitar 72,4 km dengan lebar yang bervariasi antara 3,8 hingga 8 km. Wilayah perairan Selat Rupaat merupakan daerah yang ramai dilalui oleh aktivitas pelayaran karena terdapat industri migas, kegiatan industri perkebunan, dan berbagai industri lainnya. Perairan ini merupakan sarana dan prasarana transportasi laut penting untuk meningkatkan perekonomian dan pembangunan. Di sekitar perairan merupakan perairan yang padat aktivitas manusia dan merupakan jalur transportasi internasional yang dilalui oleh kapal-kapal penyebarangan maupun kapal - kapal nelayan.

Parameter Kualitas Perairan

Data kualitas perairan yang diukur dalam penelitian ini meliputi Kekeruhan, salinitas, pH, kecepatan arus, kecerahan, dan kedalaman. Pengukuran parameter abiotik seperti pH, salinitas, kekeruhan, kecepatan arus, kecerahan, dan kedalaman diperlukan untuk memahami kondisi fisik dan kimia lingkungan perairan yang memengaruhi perilaku logam berat. Parameter-parameter ini dapat menentukan tingkat kelarutan, mobilitas, dan toksisitas logam, serta membantu dalam mengevaluasi dampaknya terhadap ekosistem perairan secara menyeluruh. Rata-rata hasil pengukuran dari parameter-parameter tersebut tercantum pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter kualitas perairan

Stasiun	Parameter			
	pH	Salinitas	Kekeruhan (NTU)	Kec. Arus (m/s)
ST.1	7.6	10.2	9.5	0
ST.2	6.8	10.2	5.9	0.22
ST.3	7.1	10.2	15.9	0.09
ST.4	8.4	10.2	10.9	0.19
ST.5	7.5	10.2	14.3	0.38
ST.6	8.3	10.2	27.1	0.13
ST.7	8.1	10.2	7.3	0.25
ST.8	7.7	10.2	29.1	0.46
ST.9	8.1	10.2	22.8	0.58
Rata-rata	7.7	10.2	15.9	0.26
ST. Kontrol	8.3	10.27	4.9	0.55

Berdasarkan data pada Tabel 3, Stasiun 4 memiliki nilai pH tertinggi yaitu 8,48, sedangkan Stasiun 2 memiliki nilai terendah yaitu 6,8. Meskipun demikian, nilai pH di seluruh perairan Selat Rupaat masih berada dalam kisaran yang memenuhi baku mutu air laut, sebagaimana diatur dalam *Peraturan Gubernur Nomor 20 Tahun 2008*, yaitu sekitar 7–8,5. Menurut Effendi (2003), sebagian besar biota akuatik tumbuh

optimal pada rentang pH 7–8,5 karena kondisi tersebut mendukung proses biologis dalam ekosistem perairan. Nilai salinitas rata-rata perairan Selat Rupat di Stasiun 1–9 adalah 10,20‰, sedikit lebih rendah dibandingkan dengan Stasiun kontrol (10,27‰). Perbedaan ini masih tergolong normal dan tidak menunjukkan indikasi gangguan terhadap kestabilan lingkungan perairan. Oleh karena itu, kondisi pH di seluruh stasiun pengamatan Selat Rupat masih tergolong baik dan mendukung kehidupan biota perairan.

Berdasarkan hasil penelitian, variasi kecepatan arus antar stasiun disebabkan oleh sejumlah faktor seperti kedalaman perairan, bentuk topografi dasar laut, pengaruh pasang surut, arah angin, serta posisi geografis terhadap sumber arus utama. Stasiun 9 menunjukkan kecepatan arus tertinggi, hal ini terjadi karena lokasinya yang terletak di area terbuka dan langsung terpengaruh oleh arus Selat Malaka, serta juga memiliki karakteristik fisik yang mendukung percepatan massa air. Kecepatan arus yang tinggi pada perairan disebabkan oleh gaya gesekan antara molekul air laut sehingga kecepatan arus semakin mengecil seiring dengan meningkatnya kedalaman. Nilai kecepatan arus pada stasiun 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan 8 memenuhi ambang baku mutu normal, sedangkan stasiun 9 memiliki kecepatan arus yang melampaui ambang baku mutu.

Kandungan Logam Pada Sedimen

Ketika logam berat terlepas ke dalam perairan, mereka akan mengalami proses pengendapan, pengenceran, dan dispersi. Setelah logam berat mengendap di dasar laut, mereka akan terakumulasi dalam sedimen laut. Hasil pengujian kandungan logam Pb, Cd, Cu, Fe dan Zn pada sedimen di setiap stasiun pengukuran tercatat dalam Tabel 4 dan 5.

Tabel 4. Kandungan logam pada sedimen saat musim hujan

Stasiun	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Zn (ppm)
ST.1	25,7	1,05	1,74	12409	56,7
ST.2	23	0,98	1,17	11394	40,7
ST.3	33,5	0,99	2,25	15718	72,5
ST.4	30,9	1,15	2,12	16330	63,3
ST.5	31,5	1,09	2,08	16278	60,2
ST.6	26	1,17	1,66	12753	45,8
ST.7	29	1,25	3,75	14940	56,2
ST.8	31,2	1,16	0,89	16002	49,1
ST.9	32	1,01	1,19	18476	43,9
ST.Kontrol	5,59	0,44	0,34	338	2,48

Konsentrasi logam berat Pb, Cd, dan Cu, Fe dan Zn di perairan industri minyak kota Dumai Riau bervariasi pada setiap titik sampling. Berdasarkan Tabel 4 pada musim hujan konsentrasi logam Pb berkisar antara 23 – 33,5 ppm, dengan konsentrasi tertinggi terdapat pada stasiun 3 di kawasan industri Dumai, yang terpengaruh oleh pasang surut arus Selat Malaka. Konsentrasi logam Cd berkisar antara 0,44 – 1,25 ppm, dengan konsentrasi terendah terdapat pada stasiun kontrol dan tertinggi pada stasiun 7 di kawasan Industri Dumai. Konsentrasi logam Cu berkisar antara 0.34 – 3,75 ppm, dengan konsentrasi

terendah pada stasiun 10 di Selat Malaka dan tertinggi pada stasiun 7 di kawasan industri dumai. Konsentrasi Fe di perairan selat Rupert berkisar antara 338 – 18476 ppm dengan konsentrai tertinggi ditemukan pada stasiun 9. Kandungan logam Zn konsentrasi terendah berada pada stasiun kontrol dengan nilai 2,48 ppm. Kandungan logam berat tersebut berasal dari limbah industri, kecelakaan kapal, dan limbah rumah tangga di sekitar daerah perairan Selat Rupert. Keberadaan logam berat tersebut dapat membahayakan organisme perairan karena bersifat beracun.

Pada penelitian ini, penilaian ambang batas logam berat pada sedimen mengacu pada **Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004**, yang menetapkan ambang batas untuk logam berat Pb dalam sedimen sebesar 30,2 ppm (Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, 2004). Berdasarkan acuan tersebut, kandungan Pb pada sedimen di setiap stasiun masih berada di bawah ambang batas. Namun, stasiun 4 dan 9 menunjukkan konsentrasi logam berat yang relatif tinggi. Stasiun 4 terletak dekat dengan aktivitas perkotaan dan aliran sungai, yang dapat menjadi jalur utama transportasi logam berat ke perairan. Studi terbaru menunjukkan bahwa sungai-sungai di wilayah perkotaan rentan terhadap akumulasi logam berat akibat aktivitas manusia seperti pembuangan limbah domestik dan industri, serta limpasan dari daerah padat penduduk. Misalnya, penelitian oleh Wu *et al.* (2025) di zona pengembangan ekonomi di Tiongkok Selatan menemukan bahwa konsentrasi logam berat seperti Pb dalam sedimen sungai perkotaan melebihi nilai latar belakang alami, dengan sumber utama berasal dari kombinasi polusi industri dan lalu lintas kendaraan. Temuan ini menegaskan bahwa aktivitas manusia di daerah perkotaan, termasuk pembuangan limbah domestik dan industri, berkontribusi signifikan terhadap akumulasi logam berat dalam sedimen sungai.

Konsentrasi logam pada saat musim kemarau juga diamati pada penelitian ini. Kandungan logam berat Pb, Cu Cd, Fe dan Zn dalam sedimen musim kemarau di masing-masing lokasi penelitian disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Kandungan logam pada sedimen saat musim kemarau

Stasiun	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Zn (ppm)
ST.1	13,7	0,93	4,76	9817	39,87
ST.2	10,08	0,54	3,57	6903	25,95
ST.3	10,02	0,6	4,41	7038	25,25
ST.4	15,99	0,98	6,07	10112	43,66
ST.5	13,25	0,88	4,31	9100	32,13
ST.6	13,45	0,88	5,28	8823	40,89
ST.7	8,7	0,54	4,77	6838	35,39
ST.8	14,27	0,8	4,65	8316	31,24
ST.9	16,01	1,15	5,1	10693	39,36
St.Kontrol	1,15	0	0,03	392	1,31

Kandungan Logam pada Air Laut

Hasil pengukuran kandungan logam Pb, Cd, CU, Fe dan Zn pada air laut di Selat Rupert dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Kandungan logam pada air laut saat musim hujan

Stasiun	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Zn (ppm)
ST.1	0,29	0,005	0,015	0,352	0,015
ST.2	0,268	0,005	0,078	0,165	0,015
ST.3	0,259	0,005	0,016	0,071	0,0033
ST.4	0,251	0,005	0,019	0,155	0,0033
ST.5	0,209	0,005	0,019	0,054	0,0033
ST.6	0,249	0,005	0,03	0,079	0,0033
ST.7	0,221	0,005	0,028	0,158	0,0033
ST.8	0,459	0,005	0,031	0,098	0,0033
ST.9	0,258	0,005	0,027	0,127	0,0033
St. Kontrol	0,289	0,005	0,025	0,216	0,0033

Tabel 6 menunjukkan bahwa kandungan logam Pb memiliki kadar yang lebih tinggi dibandingkan dengan logam lainnya. Nilai kandungan logam Pb tertinggi terlihat pada stasiun 8 yang berlokasi di Kawasan Industri Daerah memiliki kadar sebesar 0,459 ppm. Kandungan logam dengan kadar terendah yaitu logam Cd, dimana rata-rata kadar pada setiap stasiun adalah relatif sama yakni sebesar 0,005 ppm. Nilai kandungan logam pada air laut terlihat lebih rendah dibandingkan dengan kandungan logam yang ada pada sedimen, hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pengendapan, adsorpsi, sifat kimia, dan kondisi oksigen di dasar laut.

Tabel 7. Kandungan logam pada air laut saat musim kemarau

Stasiun	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Zn (ppm)
ST.1	0,004	0,001	0,01	0,13	0,019
ST.2	0,004	0,001	0,01	0,12	0,017
ST.3	0,004	0,001	0,01	0,13	0,014
ST.4	0,004	0,001	0,01	0,34	0,091
ST.5	0,004	0,001	0,01	0,27	0,048
ST.6	0,004	0,001	0,01	0,28	0,025
ST.7	0,004	0,001	0,01	0,26	0,025
ST.8	0,004	0,001	0,01	0,29	0,012
ST.9	0,004	0,001	0,01	0,29	0,012
ST.Kontrol	0,01	0,001	0,01	0,45	0,048

Tabel 7 menunjukkan bahwa kandungan logam Fe memiliki kadar yang lebih tinggi dibandingkan dengan logam lainnya. Kadar logam Fe tertinggi ditemukan pada stasiun kontrol dengan konsentrasi 0,45 ppm, sementara konsentrasi Fe terendah ditemukan pada stasiun 2, yakni 0,12 ppm. Kandungan logam dengan kadar terendah pada musim kemarau yaitu logam Cd dengan rata-rata konsentrasi pada setiap stasiun adalah 0,001 ppm.

Penelitian ini memberikan informasi ilmiah yang aktual mengenai tingkat pencemaran logam berat di kawasan industri Selat Rupa. Data yang diperoleh dapat dimanfaatkan sebagai acuan untuk menilai risiko ekologis yang ditimbulkan oleh akumulasi logam berat, khususnya terhadap organisme bentik dan ekosistem pesisir secara keseluruhan. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat digunakan oleh pemerintah daerah, lembaga lingkungan, dan pihak industri sebagai dasar dalam pengambilan kebijakan pengelolaan lingkungan laut dan pelaksanaan pemantauan kualitas perairan secara berkelanjutan di wilayah Provinsi Riau.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa kandungan logam pada sedimen saat musim hujan memiliki konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan logam pada air laut di perairan Selat Rupa. Logam dengan konsentrasi tertinggi adalah besi (Fe) yang ditemukan dalam sedimen pada Stasiun 9, dengan nilai sebesar 18.476 ppm. Sementara itu, logam berat dengan konsentrasi terendah adalah kadmium (Cd) yang ditemukan dalam air laut di seluruh stasiun pengamatan dengan rata-rata konsentrasi sebesar 0,001 ppm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Laboratorium Kimia Terpadu dan Laboratorium Kimia Laut Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Riau atas fasilitas dan bantuan teknis yang diberikan selama proses analisis sampel.

DAFTAR PUSTAKA

- Adyasari, D., Hapsari, R., & van der Heijden, L. H. (2021). Anthropogenic impact on Indonesian coastal water and ecosystems: current status and future opportunities. *Marine Pollution Bulletin*, 173, 113041. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113041>
- Bhuyan, M. S., Rak, A. E., & Bakar, M. A. (2023). Assessment of heavy metal contamination in beach sediments: A case study from a tropical region. *Water*, 15(13), 2494. <https://doi.org/10.3390/w15132494>
- Effendi, H. (2003). *Telaah kualitas air: Bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan*. Kanisius.
- Gu, X., Zhang, L., & Chen, D. (2022). Heavy metal distribution in Chinese coastal sediments and their ecological risk. *Marine Pollution Bulletin*, 180, 113703. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113703>
- Januar, I., Dwiyoitno, H., & Hidayah, I. (2021). Seasonal variation of heavy metal accumulation in environment and fishes from the Cirebon coast, Indonesia. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 24(2), 121–129. <https://doi.org/10.14321/ae hm.024.02.16>
- Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. (2004). *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut*.
- Kongsri, M., Sukasem, S., & Boonprakob, S. (2023). Potential risks and spatial variation of heavy metals in water and surface sediment of Pattani Bay, Thailand. *Toxics*, 13(6), 477. <https://doi.org/10.3390/toxics13060477>
- Kontas, A., Uluturhan, E., Alyuruk, H., Darilmaz, E., Bilgin, M., & Altay, O. (2020). Metal contamination in surficial sediments of Edremit Bay (Aegean Sea): Spatial distribution, source identification and ecological risk assessment. *Regional Studies in Marine Science*, 40, 101492. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101487>

- Retnawaty, S. F., Eh Rak, A. A., Kutty, A. A., Meka, W., & Badrun, Y. (2023). Water quality and heavy metal pollution status in the Rupert Strait, Indonesia. *BIO Web of Conferences*, 73, 05015. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237305015>
- Wong, S. S., Rahman, N., & Latif, M. T. (2019). Seasonal fluctuation of heavy metals in aquatic ecosystem: A case study. *International Journal of Aquatic Biology*, 7(3), 123–131. <https://ij-aquaticbiology.com/index.php/ijab/article/view/597>
- Wu, X., Liu, Y., & Zhang, C. (2025). Contamination and ecological risk of heavy metals in sediments of urban rivers in a typical economic development zone, Southern China. *Journal of Environmental Sciences*, 153, 264–274. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2024.09.006>
- Wu, Y., Li, X., & Chen, Y. (2022). Environmental quality and ecological risk assessment of heavy metals in coastal waters of Zhuhai, South China. *Frontiers in Marine Science*, 9, 898423. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.898423>
- Yap, C. K., & Al-Mutairi, K. A. (2022). Ecological-health risk assessments of heavy metals (Cu, Pb, and Zn) in aquatic sediments from the ASEAN-5 emerging developing countries: A review and synthesis. *Biology*, 11(1), 7. <https://doi.org/10.3390/biology11010007>
- Yunus, K., Hamzah, Z., & Wood, A. K. (2020). A review on the accumulation of heavy metals in coastal sediment of Peninsular Malaysia. *Environmental Quality Management*, 29(4), 89–103. <https://doi.org/10.1108/EFCC-03-2020-0003>
- Zhu, G., Song, S., Wang, J., Liu, X., & Zhang, Y. (2020). Distribution and assessment of heavy metals in surface sediments from the Bohai Sea of China. *Marine Pollution Bulletin*, 151, 110858. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110901>