

Geokimia dan Asesmen Pencemaran Logam Berat Cd, Cu dan Zn pada Sedimen Permukaan Estuari Baturusa, Bangka

Mohammad Agung Nugraha¹, Irma Akhrianti¹, Fika Dewi Pratiwi^{2*},
Agung Priyambada³

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Perikanan, dan Biologi, Universitas Bangka Belitung

²Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Pertanian Perikanan dan Biologi,
Universitas Bangka Belitung

³Program Studi Perikanan Tangkap, Fakultas Pertanian, Perikanan, dan Biologi,
Universitas Bangka Belitung

Kampus Terpadu – UBB, Balunijuk, Bangka, Kepulauan Bangka Belitung, 33172 Indonesia
Email: fika-dewi@ubb.ac.id

Abstract

Geochemistry and Assessment of Cd, Cu, and Zn Heavy Metal Pollution in Surface Sediments of Baturusa Estuary, Bangka

The Baturusa estuary receives inputs of organic and inorganic materials from several human activities along the river. The characteristics of heavy metals such as toxicity, resistance to decomposition, and ability to accumulate in aquatic biota can indirectly have a negative impact on the health of humans who consume marine biota. The research was conducted with the aim of studying the geochemical characteristics and assessing the level of heavy metal contamination of Cd, Cu and Zn in the sediments of the Baturusa Estuary. Heavy metal fractionation was analyzed by sequential extraction. The CF value of Cu and Zn metals shows a low level of contamination, while Cd shows a moderate level of contamination. I-Geo metal Cd is in the unpolluted to moderately polluted status, while Cu and Zn are not polluted. The PLI value indicates the unpolluted category. Geochemical fractionation of heavy metals Cd, Cu and Zn Baturusa Estuary is characterized by the presence of exchangeable, carbonate, reducible, oxidizable and residual fractions. Cu and Zn mainly tend to be stored/bound to the residual fraction (mainly derived from natural sources) while Cd is more bound to the non-residual fraction (mainly derived from human/anthropogenic activities). The risk evaluation of Cd metal is very high to high risk/hazard, while Cu and Zn are not at risk/hazardous to low. These conditions indicate that Cd metal may be harmful to the environment and has a higher mobility than other metals so that it has a higher risk of being available in the body of biota.

Keywords : Geochemistry, heavy metal, contamination, sediment, Baturusa

Abstrak

Estuari Baturusa menerima masukan bahan organik dan anorganik dari beberapa aktivitas manusia disepanjang sungai. Karakteristik logam berat seperti toksisitas, resisten terhadap dekomposisi, dan kemampuan akumulasi terhadap biota akuatik serta secara tidak langsung dapat berdampak negatif terhadap kesehatan manusia yang mengkonsumsi biota laut. Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mengkaji karakteristik geokimia dan menilai tingkat kontaminasi logam berat Cd, Cu, dan Zn pada sedimen Estuari Baturusa, Bangka. Fraksinasi logam berat dianalisis dengan ekstraksi bertahap. Nilai CF logam Cu dan Zn menunjukkan tingkat kontaminasi rendah ($CF < 1$), sedangkan Cd menunjukkan tingkat kontaminasi sedang ($1 \leq CF < 3$). I-Geo logam Cd berada pada status tidak tercemar hingga tercemar sedang ($0 < I_{geo} < 1$), sedangkan Cu dan Zn memiliki status tidak tercemar ($I_{geo} \leq 0$). Nilai PLI menunjukkan kategori tidak tercemar ($PLI < 1$). Fraksinasi geokimia logam berat Cd, Cu dan Zn Estuari Baturusa dicirikan dengan adanya fraksi *exchangeable*, karbonat, *reducible*, fraksi *oxidizable*, dan residual. Logam Cu dan Zn utamanya cenderung tersimpan/ terikat pada fraksi residual (utamanya berasal dari sumber alami) sedangkan Cd lebih terikat pada fraksi non residual atau non resisten (utamanya berasal dari aktivitas manusia/ antropogenik). Evaluasi resiko dari logam Cd yaitu resiko/ bahaya sangat tinggi hingga tinggi, sedangkan Cu dan Zn tidak beresiko/ berbahaya hingga rendah. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa logam Cd kemungkinan berbahaya bagi lingkungan serta memiliki mobilitas lebih tinggi daripada logam lain sehingga beresiko lebih tinggi tersedia dalam tubuh biota.

Kata kunci : Geokimia, logam berat, kontaminasi, sedimen, Baturusa

PENDAHULUAN

Sungai Baturusa adalah bagian dari wilayah sungai (WS) Bangka yang merupakan Sungai terpanjang pada WS Bangka. Sungai Baturusa yang masuk dalam wilayah lintas Kabupaten Bangka

dan Kota Pangkalpinang memiliki panjang 58,71 km (Kabupaten Bangka) dan 23,89 km (Kota Pangkalpinang) dengan total 82,6 km. Sungai Baturusa menerima masukan bahan organik dan anorganik dari beberapa aktivitas manusia disepanjang sungai seperti pemukiman, penambangan timah ilegal, peternakan ayam, PLTU, pelabuhan, Dok kapal dan tambak udang (Kementerian PUPR, 2016). Estuari Sungai Baturusa yang merupakan akhir masukan dari aktivitas dilahan atas berpotensi mengalami peningkatan polutan, terutama yang terendap dalam sedimen. Estuari Sungai Baturusa terdapat juga aktivitas penangkapan ikan sebagai salah satu mata pencaharian masyarakat sekitar. Masukan antropogenik akibat aktivitas manusia yang ada dilahan atas diduga telah mempengaruhi ekologi yang ada di Estuari Baturusa. Penelitian mengenai karakteristik geokimia logam berat (Identifikasi Sumber, Bioavailabilitas, dan Penilaian Resiko Logam) serta asesmen kontaminasi logam berat pada sedimen perairan Estuari Baturusa, Bangka belum dilakukan. Melihat kondisi diatas perlu dilakukan penelitian di lokasi Estuari Baturusa.

Logam berat di lingkungan akuatik dapat berasal secara alami (pelapukan batuan induk baik secara fisik dan kimia) maupun antropogenik (Bastami *et al.*, 2017; Neyestani *et al.*, 2016). Kandungan logam berat pada sedimen lingkungan akuatik secara signifikan lebih tinggi dibandingkan pada kolom air (Liang *et al.*, 2018). Wilayah pesisir seperti ekosistem estuari dapat mengalami kontaminasi logam berat akibat aktivitas antropogenik dan secara umum sedimen estuari dapat menampung seluruh masukan kontaminan (Bastami *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2018). Sedimen merupakan komponen yang penting dalam ekosistem estuari, hal tersebut terkait sifat fisik dan kimianya serta sesuai sebagai indikator pencemaran (Bastami *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2014). Sedimen juga dapat memberikan informasi penting dalam hubungan antara proses kimia dan biologi. Penelitian mengenai spesiasi geokimia dan asesmen logam berat telah dilakukan secara luas di perairan pesisir, laut, dan sungai seperti Teluk Persia (Neyestani *et al.*, 2016), Teluk Jakarta (Arifin dan Fadhlina, 2009), Teluk Kelabat (Nugraha *et al.*, 2019) dan Selat Karimata (Kolibongsi, 2016), dan Sungai Langat, Selangor Malaysia (Kadhun *et al.*, 2015).

Pengukuran konsentrasi logam berat total sering digunakan untuk menilai pencemaran logam berat pada sedimen, tetapi kurang dalam merefleksikan atau memberikan informasi terkait mobilitas, bioavailabilitas, dan toksisitas logam (Bastami *et al.*, 2017; Neyestani *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2015). Pengukuran logam berat secara partisi/ fraksinasi geokimia logam berat pada sedimen dapat memberikan informasi yang lebih akurat terhadap ketersediaannya terhadap biota laut. Partisi geokimia logam berat juga dapat menginvestigasi karakteristik sumber logam berat (alami dan antropogenik) (Bastami *et al.*, 2018; Arifin dan dan Fadhlina, 2009). Distribusi dan akumulasi logam berat dipengaruhi oleh banyak faktor seperti komposisi dan struktur sedimen, ukuran butiran sedimen dan kondisi hidrodinamika (Wang *et al.*, 2014).

Untuk menilai tingkat kontaminasi dan potensi resiko ekologi logam berat pada sedimen, dalam studi ini menggunakan analisis *Contamination Factor* (CF), Indeks Geo-akumulasi (I_{geo}), dan *Pollution Load Index* (PLI). Asesmen tersebut akan membantu mengkarakterisasi tingkat dan sumber kontaminasi pada sedimen dan sebagai alat yang secara efektif melindungi ekosistem estuari (Wang *et al.*, 2014). Logam berat yang memasuki lingkungan akuatik mendapat perhatian khusus karena karakteristik logam beratnya seperti toksisitas, resisten terhadap dekomposisi, dan kemampuan akumulasi terhadap biota akuatik serta secara tidak langsung dapat berdampak negatif terhadap kesehatan manusia yang mengkonsumsi biota laut (Alahabadi dan Malvandi, 2018; Elias *et al.*, 2018; Qiu *et al.*, 2018). Logam yang berada pada kolom air dapat terakumulasi pada sedimen permukaan melalui aksi fisika-kimia (Zhao *et al.*, 2019). Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengkaji karakteristik geokimia dan menilai tingkat kontaminasi logam berat Cd, Cu, dan Zn pada sedimen Estuari Baturusa, Bangka.

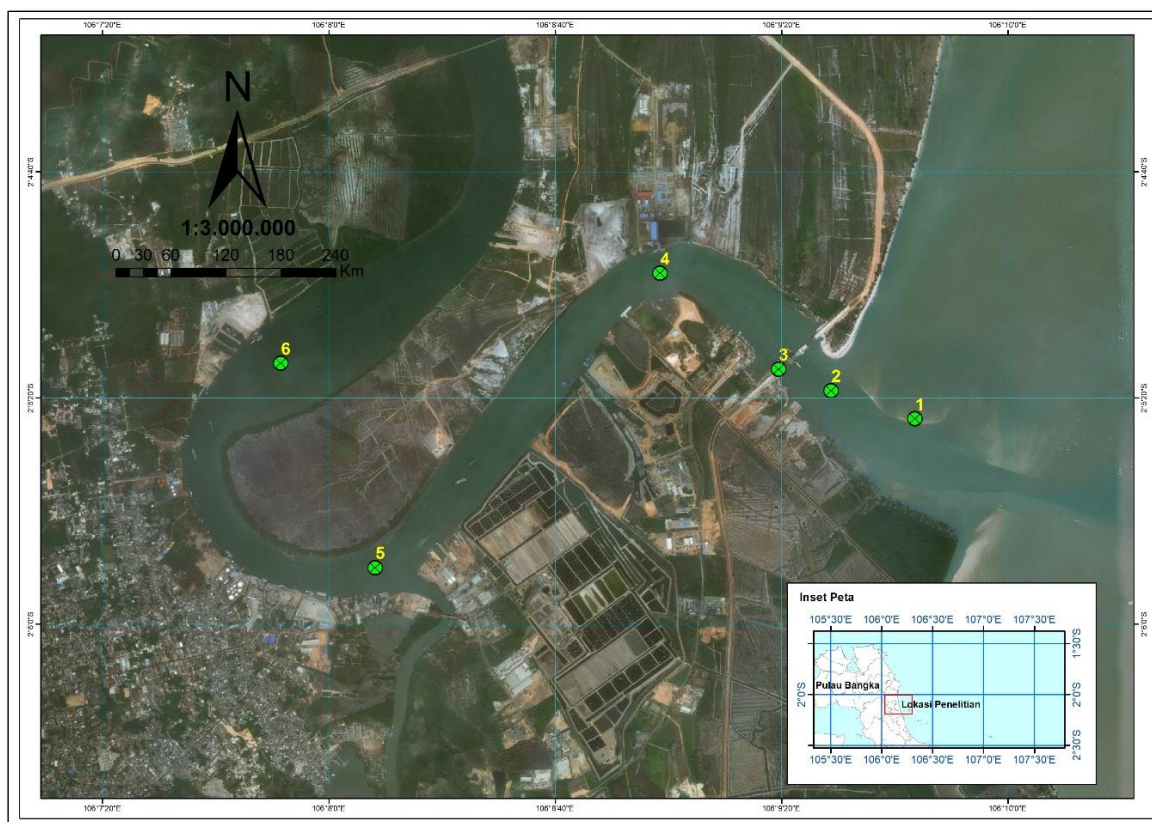
MATERI DAN METODE

Pengambilan sampel sedimen dilakukan pada bulan Mei 2022. Penelitian dilakukan pada perairan Estuari Baturusa, Bangka. Pengumpulan sampel sedimen yang digunakan pada penelitian

ini terdiri dari 6 stasiun (Gambar 1). Sampel sedimen permukaan ($\pm 0-10$ cm) dikoleksi dengan menggunakan alat grab. Sampel sedimen yang telah terkumpul pada grab, kemudian dimasukkan dalam wadah plastik yang telah dicuci dengan larutan asam. Selanjutnya, disimpan dalam cold box yang telah diberi es batu. Di laboratorium sampel sedimen disimpan pada suhu -20°C (Takarina *et al.*, 2013; Bastami *et al.*, 2017; Alahabadi dan Malvandi, 2018; Elias *et al.*, 2018).

Analisis Total Organic Carbon (TOC) sedimen menggunakan metode Walkley Black (Welcherr, 1963). Untuk tekstur sedimen dianalisis dengan menggunakan metode pipet (Holme and Mc Intyre, 1984). Sampel sedimen untuk analisis fraksinasi geokimia logam berat dikeringkan terlebih dahulu pada suhu 80°C , selanjutnya dihaluskan dengan mortar (Liu *et al.*, 2015; Bastami *et al.*, 2017). Sampel sedimen tersebut kemudian dianalisis dengan ekstraksi secara simultan (*sequential extraction procedure*) (Najamuddin, 2017). Prosedur ekstraksi secara simultan yang menghitung konsentrasi logam berat, dibagi menjadi 5 komponen geokimia sedimen yaitu *exchangeable* (logam berat dalam sedimen yang berikatan dengan *humic substances*), *carbonate* (berikatan dengan karbonat), *Mn-Fe oxide* (berikatan dengan oksida mangan-besi), *organic* (berikatan dengan bahan organik), dan *residual* (berikatan dengan mineral sedimen).

F1 (fraksi *exchangeable*), 1 gram sampel sedimen, dimasukkan ke dalam tabung *sentrifuge* kemudian diekstrak dengan 8 ml MgCl_2 1M. Sample kemudian dikocok selama 30 detik dan selanjutnya diinkubasi pada suhu kamar sekitar 24 jam. Sampel selanjutnya di *sentrifuge* pada 250 rpm selama ± 30 menit lalu didekantasi dan diambil supernatannya untuk diukur logam berat dengan AAS. Sedang residunya selanjutnya digunakan untuk analisis fraksi *residual*. F2 (fraksi karbonat), 1 gram sampel sedimen dimasukkan ke dalam tabung *sentrifuge* kemudian diekstrak dengan 8 mL NaOAc 1 M. Sampel selanjutnya dikocok selama 30 detik dan selanjutnya diinkubasi pada suhu kamar sekitar 24 jam. Sampel selanjutnya disentrifuge pada 250 rpm selama ± 30 menit lalu didekantasi dan diambil supernatannya untuk diukur logam berat dengan AAS.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di Perairan Estuari Baturusa, Bangka

F3 (Fraksi Oksida Mangan (Mn)-Besi (Fe)), 1 gram sampel sedimen dimasukkan ke dalam tabung *sentrifuge* kemudian diekstrak dengan menambahkan 10 ml 0.04 M NH₂OH.HCl. Sampel dipanaskan dalam oven pada suhu 80 °C selama 24 jam. Setelah sampel didinginkan, selanjutnya di *sentrifuge* pada 250 rpm selama ±30 menit lalu didekantasi dan diambil supernatannya untuk diukur logam berat dengan AAS. F4 (fraksi organik), 1 gram sampel sedimen dimasukkan ke dalam tabung *sentrifuge* kemudian diekstrak dengan menambahkan 3 mL HNO₃ 0,02 M dan 5 mL H₂O₂. Sampel selanjutnya dipanaskan dalam oven pada suhu 80 °C selama 2 jam. Ditambahkan lagi 3 mL H₂O₂ lalu dipanaskan dalam oven pada suhu 80 °C selama 3 jam. Setelah sampel dingin ditambahkan 5 mL NH₄OAc 1.2 M dalam 10 % HNO₃. Sampel kemudian di *sentrifuge* pada 250 rpm selama ±30 menit lalu didekantasi dan diambil supernatannya untuk diukur logam berat dengan AAS. F5 (fraksi residual), residu dari fraksi *exchangeable* diambil 0,5 gram kemudian ditambahkan 4 mL aquaregia (campuran HCl pekat : HNO₃ pekat dengan perbandingan 3:1), kemudian ditambahkan lagi 6 ml HF. Sampel selanjutnya dipanaskan sampai kering. Sampel ditambahkan lagi dengan 4 mL aquaregia (campuran HCl pekat : HNO₃ pekat dengan perbandingan 3:1), kemudian ditambahkan lagi 6 mL HF. Selanjutnya sampel dilarutkan dengan 10 ml HCL 0,1 N kemudian diukur logam berat dengan AAS.

Analisis data untuk melakukan *assessment* kontaminasi logam berat Cd, Cu, dan Zn menggunakan analisis Indeks Beban Pencemaran (*Pollution Load Index/ PLI*), Faktor kontaminasi (*Contamination Factor/ CF*), dan Indeks Geo-akumulasi (*I_{geo}*). Indeks Beban Pencemaran (PLI) merupakan cara menilai tingkat kontaminasi untuk berbagai elemen dan dihitung dengan formula sebagai berikut (Ahmed *et al.*, 2018; Alahabadi dan Malvandi, 2018; Bastami *et al.*, 2017):

$$PLI = [CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \dots \times CF_n]^{1/n}$$

Keterangan: CF = Faktor kontaminasi/ Faktor kontaminasi tiap logam/ Faktor kontaminasi tiap elemen; n = Jumlah logam. Nilai PLI diatas 1 menunjukkan adanya pencemaran/ kontaminasi logam, sedangkan bila dibawah 1 tidak ada pencemaran/ kontaminasi.

Faktor kontaminasi dapat digunakan untuk menilai tingkat kontaminasi logam berat antropogenik. CF dihitung dengan pengukuran rasio konsentrasi tiap elemen dalam sedimen dengan *background value* (Hakanson, 1980; Wu *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2017; Bastami *et al.*, 2017; Ahmed *et al.*, 2018; Alahabadi dan Malvandi, 2018).

$$CF = C_n / C_{Background} (B_n)$$

Keterangan : C_n = Konsentrasi elemen "n" pada sampel sedimen; C Background (B_n) = Konsentrasi elemen "n" di alam. C Background (B_n) untuk logam Pb=20 ppm; Cd=0,3 ppm; Cu = 45 ppm; dan Zn = 95 ppm (Turekian dan Wedepohl, 1961). CF dibagi dalam empat klasifikasi : Tingkat Kontaminasi Rendah (CF<1), Tingkat Kontaminasi Sedang (1≤CF<3), Tingkat Kontaminasi Cukup (3≤CF<6) dan Tingkat Kontaminasi Sangat Tinggi (CF≥6).

Untuk menentukan tingkat kontaminasi logam berat dalam sedimen menggunakan Indeks Geo-akumulasi (Wu *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2015; Alahabadi dan Malvandi, 2018).

$$I_{geo} = \frac{\text{Log}_2(C_n)}{1.5 (B_n)}$$

Keterangan : C_n = Konsentrasi elemen "n" pada sampel sedimen; B_n = Konsentrasi background pada elemen "n". Tingkat kontaminasi logam berat pada Indeks Geo-akumulasi dibagi dalam tujuh kelas yaitu Tidak Tercemar (*I_{geo}* ≤0), Tidak tercemar hingga tercemar sedang (0<*I_{geo}*<1), Tercemar sedang (1<*I_{geo}*<2), Tercemar sedang hingga berat/ parah (2<*I_{geo}*<3), Tercemar berat/ parah (3<*I_{geo}*<4), Tercemar berat/ parah hingga sangat berat (4<*I_{geo}*<5), dan Tercemar sangat berat (5 >*I_{geo}*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi ukuran butir sedimen yang ditemukan pada perairan Baturusa menunjukkan adanya variasi (Tabel 1). Persentase fraksi pasir (>63 µm) yang diperoleh berkisar antara 14,56-96,79%. Untuk lumpur (4-63 µm) persentase yang diperoleh berkisar antara 0,45-28,55%. Kemudian, untuk persentase liat (< 4 µm) pada perairan Baturusa berkisar antara 2,76-56,88%. Partikel halus dengan ukuran butiran < 63 µm (lumpur + liat) berkisar antara 3,21-85,44%. Perairan Baturusa menunjukkan partikel pasir lebih dominan (stasiun 1, 2, 3, 4, dan 6). Hal tersebut diduga kecepatan arus pada perairan Baturusa relatif kuat. Tingginya persentase fraksi pasir, umumnya dicirikan oleh kuatnya kecepatan arus (Prartono *et al.*, 2009; Nugroho dan Basit, 2014). Dominasi fraksi pasir juga ditemukan di sepanjang Sungai Nuni hingga ke muara, Kabupaten Manokwari (Randa *et al.*, 2021) dan Sungai Pawan, Kabupaten Ketapang (Nursiani *et al.*, 2020).

Konsentrasi Total Organic Carbon/ TOC (Tabel 1) yang diperoleh pada sedimen permukaan perairan Baturusa berkisar antara 0,23-8,24%. Penilaian TOC sedimen berdasarkan US EPA (2002) dibagi 3 (tiga) kategori yaitu rendah ($\leq 1\%$), sedang (>1 hingga 3%), dan Tinggi (>3%). Nilai TOC yang diperoleh di perairan Baturusa berada pada tingkat rendah hingga tinggi. Perairan Baturusa dapat menerima masukan bahan organik dari sumber antropogenik dan alami. Senyawa organik secara alami dapat bersumber dari terestrial maupun akuatik (Gao *et al.*, 2012; Gu *et al.*, 2017; Permanawati dan Hernawan, 2018). Nilai TOC yang diperoleh baik tinggi maupun rendah pada sedimen permukaan perairan Baturusa bila dikaitkan dengan ukuran butir sedimen yang diperoleh, sangat menentukan konsentrasi TOC (Prartono *et al.*, 2009; Siregar *et al.*, 2021). Tingginya persentase partikel halus (lumpur+liat) pada stasiun 5 perairan Baturusa diikuti juga dengan tingginya konsentrasi TOC pada stasiun 5. Perairan dengan persentase pasir relatif tinggi, pada umumnya mengandung TOC yang lebih rendah dibandingkan dengan komposisi partikel halus. Konsentrasi TOC pada sedimen perairan Baturusa masih lebih rendah bila dibandingkan dengan TOC sedimen yang ditemukan pada Perairan Laut Belitung yaitu berkisar 0,78-12,05% (Putri *et al.*, 2015), perairan muara Sungai Banjir Kanal Timur, Semarang yaitu berkisar 10-35% (Diyat *et al.*, 2015), perairan Teluk Jakarta yaitu berkisar 5,4-19,9% (Dwikartika *et al.*, 2015) dan perairan Pulau Tikus, Bengkulu yaitu berkisar 6-8,3% (Muslim *et al.*, 2016).

Konsentrasi logam berat Cd pada sedimen permukaan perairan Baturusa (Tabel 1) berkisar antara 0,68-0,85 mg/kg (rata-rata 0,76 mg/kg). Untuk logam berat Cu diperoleh konsentrasi berkisar antara 10,49-25,68 mg/kg (rata-rata 16,64 mg/kg). Selanjutnya, logam berat Zn diperoleh konsentrasi berkisar antara 7,69-46,18 mg/kg (rata-rata 19,21 mg/kg). Konsentrasi logam berat Cd (stasiun 1, 3, 4, 5) dan Cu (stasiun 2, 5) pada sedimen permukaan Perairan Baturusa bila dibandingkan dengan pedoman mutu sedimen *Canadian Council of Ministry of Environment* (2002) dari Kanada telah melewati nilai ISQG (*Interim Sediment Quality Guidelines*). Konsentrasi logam berat Cd dan Cu belum melewati nilai PEL (*Probable Effect Level*) (Tabel 1). Untuk logam berat Zn pada perairan Baturusa belum melewati pedoman mutu sedimen *Canadian Council of Ministry of Environment* (2002) baik nilai ISQG dan PEL. Konsentrasi logam berat Cd, Cu, dan Zn pada sedimen permukaan perairan Baturusa bila dibandingkan dengan pedoman mutu ANZECC/ARMCANZ (2000) dari Australia dan Selandia Baru belum melampaui *low value*.

Tabel 1. Persentase ukuran butiran sedimen (%) dan total organic carbon (%) yang diperoleh pada perairan Estuari Baturusa, Bangka

Stasiun	Tekstur sedimen (%)				TOC (%)
	Pasir	Lumpur	Liat	Lumpur + Liat	
1	86,61	0,57	12,82	13,39	1,41
2	63,58	13,96	22,46	36,42	4,18
3	96,79	0,45	2,76	3,21	0,75
4	93,55	3,05	3,40	6,45	0,23
5	14,56	28,55	56,88	85,44	8,24
6	94,82	0,98	4,19	5,18	0,67

Konsentrasi logam berat Cd dalam sedimen perairan Baturusa relatif lebih rendah (Tabel 2) dibandingkan dengan logam berat Cd yang ditemukan pada perairan Pulau Untung Jawa-Jakarta (Alisa *et al.*, 2020), dan Teluk Jakarta (Kusuma *et al.*, 2015). Sebaliknya, konsentrasi logam berat Cd dalam sedimen perairan Baturusa masih relatif lebih tinggi bila dibandingkan dengan perairan Matras, sekitar pulau reklamasi C dan D-Teluk Jakarta, Cimanuk-Indramayu, pesisir Teluk Ambon, perairan Laut Jambi, dan pesisir Gresik.

Konsentrasi logam berat Cu pada sedimen perairan Matras relatif masih rendah bila dibandingkan dengan perairan Cimanuk-Indramayu, Teluk Jakarta, dan Pesisir Gresik-Jawa Timur. Nilai konsentrasi logam berat Cu masih relatif lebih tinggi bila dibandingkan dengan perairan Matras, muara Sungai Musi, Teluk Kelabat bagian dalam-Bangka, dan pesisir Teluk Ambon. Konsentrasi logam berat Zn dalam sedimen yang ditemukan pada Perairan Baturusa menunjukkan konsentrasi yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan perairan Muara Sungai Musi, Teluk Kelabat bagian dalam-Bangka, Perairan Cimanuk-Indramayu, Teluk Jakarta, Perairan Laut Jambi, dan Pesisir Gresik-Jawa Timur serta relaif lebih tinggi bila dibandingkan dengan Perairan Matras-Sungailiat (Tabel 2).

Tabel 2. Perbandingan logam berat pada sedimen Perairan Baturusa dengan panduan mutu sedimen dan lokasi lain

Lokasi	Waktu	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Referensi
Perairan Baturusa, Bangka	Mei 2022	0,68-0,85 (0,76)	10,49-25,68 (16,64)	7,69-46,18 (19,21)	Penelitian ini
Perairan Matras, Sungailiat, Bangka	Maret 2021	0,02-0,06 (0,04)	0,01 (0,01)	0,54-1,34 (0,92)	Nugraha <i>et al.</i> (2022)
Muara Sungai Musi, Kabupaten Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan	Agustus 2020	-	1,927 - 5,9	25,257 - 54,43	Putri <i>et al.</i> (2022)
Perairan Pulau Untung Jawa, Jakarta	November 2019	1,968-2,760	-	-	Alisa <i>et al.</i> (2020)
Teluk Kelabat bagian dalam, Bangka	April 2018	-	0,16-9,54 (4,39)	25,58-237,24 (71,99)	Nugraha <i>et al.</i> (2019)
Perairan sekitar Pulau Reklamasi C dan D, Teluk Jakarta	Agustus 2017	0,07-0,15	-	-	Salman (2020)
Perairan Cimanuk, Indramayu, Jawa Barat	Mei 2017	0,07-0,37 (0,17)	12,36-54,08 (28,75)	64,53-85,16 (74,32)	Harmesa <i>et al.</i> (2020)
Pesisir Teluk Ambon	Mei 2016	0,0108-0,0171	-	-	Sukaryono dan Dewa (2018)
Teluk Jakarta	September 2014	0,32-3,49 (1,37)	11,42-67 (33,13)	26,14-241,01 (109,01)	Kusuma <i>et al.</i> (2015)
Perairan Laut Jambi	Agustus 2012	<0,5	2-11	18-26	Susantoro (2015)
Pesisir Gresik, Jawa Timur	Februari 2012	0,08-3,05 (0,64)	23,7-234 (85,5)	77-405 (133)	Lestari dan Budiyanto (2013)

SQGs

CCME (2002)	ISQG	0,7	18,7	124
	PEL	4,2	108	271
ANZECC/ ARMCANZ Guidelines (2000)	Low	1,5	65	200
	High	10	270	410

Keterangan : - = tidak dilakukan pada penelitian tersebut; SQGs = Sediment Quality Guidelines; ISQG = Interim Sediment Quality Guidelines; PEL = Probable Effect Level

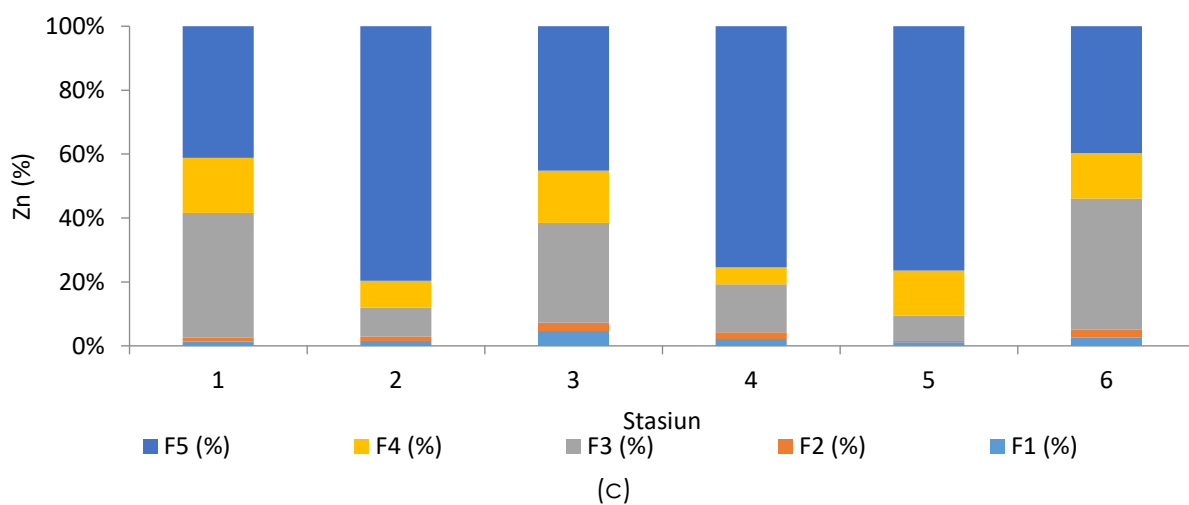
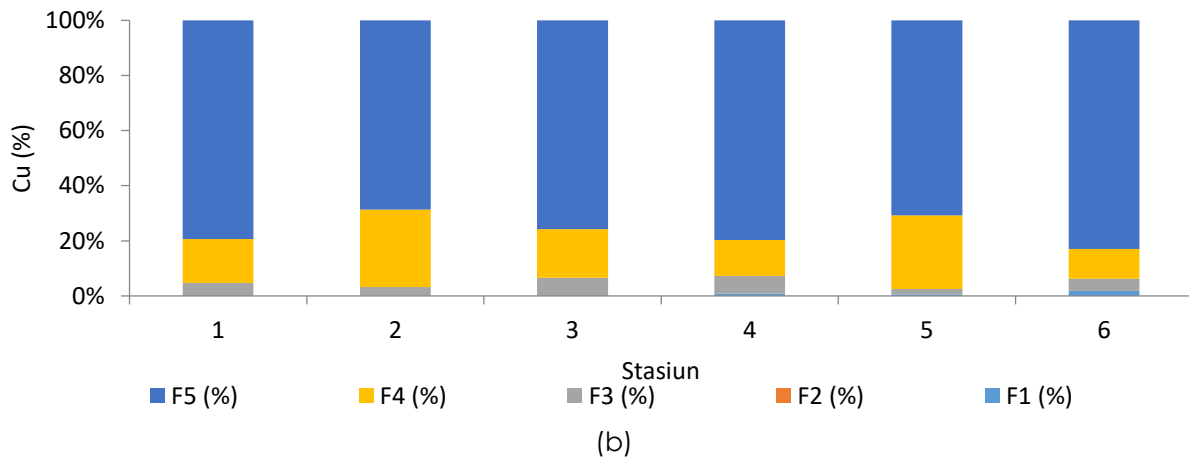
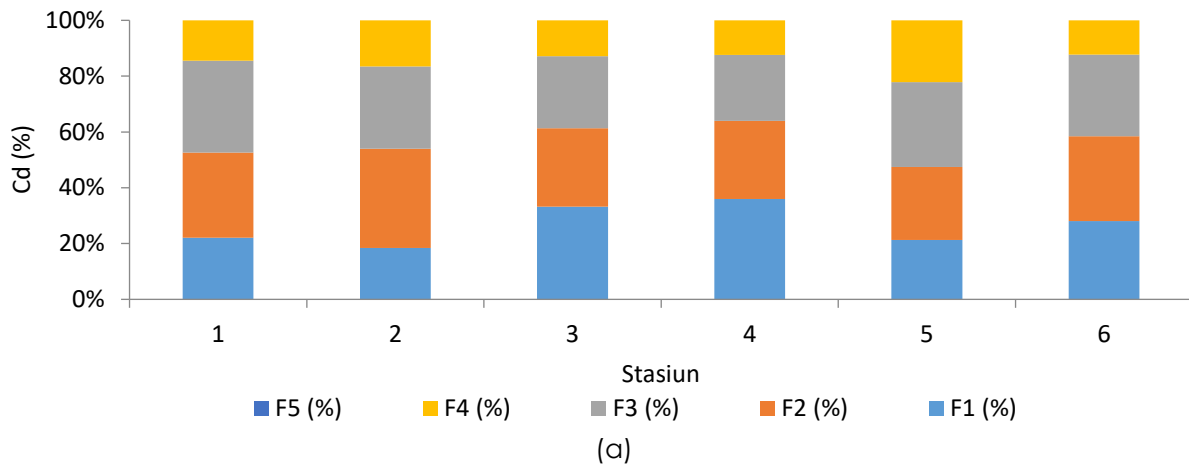
Selain pengukuran total logam berat, rasio logam dalam bagian geokimia yang berbeda dari sedimen (bagian stabil dan tidak stabil), dapat diukur untuk menentukan asal logam di lingkungan (Bastami *et al.*, 2018). Aktivitas manusia seperti pembuangan air limbah perkotaan dan industri serta kegiatan pertanian dan penambangan merupakan bagian yang tidak stabil, sedangkan bagian yang stabil pada logam di sedimen berasal dari sumber alami (pelapukan batuan). Fraksinasi logam berat Cd, Cu dan Zn pada sedimen perairan Baturusa terdiri atas fraksi *exchangeable*, fraksi karbonat, fraksi *reducible* (Fe-Mn oxide), fraksi *oxidizable* (organik), dan fraksi residual (Gambar 2). Fraksi residual (F5) dari logam berat utamanya tersusun oleh mineral *crystalline* atau *lithogenous fraction* dari sedimen (Liang *et al.*, 2018). Proporsi fraksi residual (F5) pada logam berat Cd, Cu dan Zn pada Perairan Baturusa yaitu berkisar antara 0%, 68,64-82,97% dan 39,66-79,65%. Logam berat Cu dan Zn pada perairan Baturusa utamanya cenderung tersimpan atau terikat pada fraksi residual. Sebaliknya, logam berat Cd menunjukkan kisaran persentase yang lebih rendah pada fraksi residual. Hal tersebut menunjukkan logam berat Cu dan Zn utamanya berasal dari sumber alami atau *terrestrial* dan pengaruh antropogenik logam Cu dan Zn pada perairan Baturusa terlihat minor. Logam berat yang terdapat dalam fraksi residual (F5) atau resisten, berikatan kuat dengan mineral sedimen dan berasal dari sumber alami/ *terrestrial* (Fernandes dan Nayak, 2014; Liu *et al.*, 2015; Bastami *et al.*, 2018). Secara umum, fraksi residual yang merupakan bagian stabil memperlihatkan toksisitas yang rendah dan tidak tersedia untuk diabsorpsi oleh biota perairan/ *non bioavailable* (Situmorang *et al.*, 2010; Helali *et al.*, 2016; Gu *et al.*, 2017). Tingginya persentase fraksi residual logam berat Cu dan Zn pada sedimen juga ditemukan pada perairan Delta Berau, Kalimantan Timur (Situmorang *et al.*, 2010), Teluk Maluan-Cina (Wang *et al.*, 2015), pantai timur Guangdong, Cina Selatan (Gu and Lin, 2016), Utara Teluk Persia (Neyestani *et al.*, 2016) dan Laut Kaspia (Bastami *et al.*, 2018).

Fraksi non residual/ *labile fraction* merupakan penjumlahan dari F1 (fraksi *exchangeable*), F2 (fraksi karbonat), F3 (fraksi *reducible*) dan F4 (fraksi *oxidizable*). Fraksi non residual (bagian yang tidak stabil) mudah terserap dalam butiran sedimen, memiliki tingkat bioavailabilitas (tersedia dalam tubuh biota) dan mobilitas yang tinggi serta berasal dari aktivitas manusia (Neyestani *et al.*, 2016; Bastami *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2018). Persentase fraksinasi logam berat Cd pada perairan Baturusa lebih terikat pada fraksi non residual (F1+F2+F3+F4) atau non resisten dengan persentase 100% (Gambar 2). Tingginya persentase fraksi non residual atau non resisten bila dibandingkan dengan fraksi residual pada perairan Baturusa menunjukkan masukan logam berat Cd utamanya berasal dari aktivitas manusia/ antropogenik daripada sumber alami (Arifin dan Fadhlina, 2009; Situmorang *et al.*, 2010; Neyestani *et al.*, 2016; Bastami *et al.*, 2018). Kondisi logam berat Cd tersebut juga menunjukkan adanya potensi (fraksi non residual > 40%) mobilitas logam dan bioavailabilitas pada permukaan sedimen (Dias dan Nayak, 2016; Delshab *et al.*, 2017; Gu *et al.*, 2017). Sumber masukan antropogenik perairan Baturusa diduga berasal dari aktivitas penambangan timah. Aktivitas pertambangan timah dapat menghasilkan limbah cair berupa logam berat Cd, Pb, Cr, Sn, Hg, Cu, dan Zn (Prianto dan Husnah, 2009; Arifin, 2011).

Proporsi fraksi *exchangeable* (F1) dan karbonat (F2) pada logam berat Cd, Cu dan Zn pada perairan Baturusa yaitu berkisar antara 18,38-35,96%, 0-1,87%, 1,12-4,65% dan 26,16-35,60%, 0% dan 0,45-2,57%. Fraksi *exchangeable* (F1) dan karbonat (F2) larut dalam asam (*acid soluble fraction*) sehingga memiliki ikatan yang lemah serta mobilitas, bioavailabilitas, dan toksisitas yang paling tinggi (Wang *et al.*, 2015; Neyestani *et al.*, 2016). Pada F1 menunjukkan ikatan yang lemah dalam bentuk *exchangeable*, dengan bioavailabilitas yang mudah menyebabkan toksisitas (Wang *et al.*, 2015; Bastami *et al.*, 2018; Gu *et al.*, 2017). Hal tersebut juga mengindikasikan adanya potensi ketersediaan biologis (bioavailabilitas) logam berat Cd, Cu, dan Zn pada perairan Baturusa untuk terserap atau terakumulasi oleh biota. Logam Cd pada lokasi penelitian menunjukkan mobilitas lebih tinggi daripada logam lain sehingga beresiko lebih tinggi tersedia dalam tubuh biota.

Risk Assessment Code (RAC) dianggap sebagai kriteria yang sesuai untuk investigasi efek potensi biologi dalam sedimen yang telah terkontaminasi dan secara luas digunakan untuk evaluasi mobilitas logam dan bioavailabilitas pada permukaan sedimen (Bastami *et al.*, 2018). Dalam RAC,

persentase logam fase *exchangeable* dan *carbonate* diterapkan untuk mengevaluasi resiko lingkungan dari logam berat yang berada dalam sedimen (Neyestani *et al.*, 2016; Bastami *et al.*, 2018). Klasifikasi RAC dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 2. Fraksinasi Logam Berat Cd (a), Cu (b) dan Zn (c) dalam sedimen (%) pada Perairan Baturusa (F1 = Fraksi *exchangeable*; F2= Fraksi Karbonat; F3= Fraksi *reducible* (Fe-Mn oxide) ; F4 = Fraksi *oxidizable* (organik); F5 = Fraksi residual)

Evaluasi resiko (Tabel 4) dari logam berat Cd yaitu resiko/ bahaya sangat tinggi hingga tinggi, sedangkan logam berat Cu dan Zn tidak beresiko/ berbahaya hingga rendah. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa logam berat Cd kemungkinan berbahaya bagi lingkungan.

Fraksi 3 yaitu logam yang terikat dengan Fe-Mn oksida terlihat pada logam berat Cd, Cu, dan Zn dengan persentase 23,74-32,98%, 1,99-6,57% dan 7,87-41,05%. Hal ini mengindikasikan bahwa Fe-Mn oksida efisien sebagai scavengers pada logam Zn (Liang *et al.*, 2018). Fraksi 4 yaitu logam yang terikat dengan komponen organik terlihat pada logam berat Cd, Cu, dan Zn dengan persentase 12,28-22,14%, 10,85-28,19% dan 5,30-17,21%. Pada logam berat Cd, Cu, dan Zn (Gambar 2) terlihat persentase antara F3 dan F4 cenderung berbanding terbalik, dimana persentase F3 cenderung lebih besar pada logam Cd-Zn dan F4 cenderung lebih besar pada logam Cu. Hal ini menunjukkan bahwa fraksi *reducible* (Fe-Mn oxide) dan fraksi *oxidizable* (organik) dapat mengalami transformasi antar fraksi. Dalam kondisi reduksi, logam dalam Fraksi *reducible* dapat dilepaskan kembali kedalam kolom air dan dapat terikat dengan bahan organik pada fraksi *oxidizable* (Shen *et al.*, 2007). Pada kondisi oksidasi, logam dalam fraksi *oxidizable* juga dapat dilepaskan kembali dan diikat oleh Fe-Mn oksida (Zhou *et al.*, 2010).

Pada perairan Estuari Baturusa diperoleh nilai faktor kontaminasi Cd, Cu, dan Zn (Tabel 5) berkisar antara 2,280-2,837, 0,233-0,571, dan 0,081-0,486. Nilai CF untuk logam Cu dan Zn yang diperoleh pada sedimen Perairan Estuari Baturusa menunjukkan tingkat kontaminasi rendah ($CF < 1$), sedangkan nilai CF logam Cd menunjukkan tingkat kontaminasi sedang ($1 \leq CF < 3$). Nilai CF logam Cd pada sedimen perairan Estuari Baturusa masih lebih rendah bila dibandingkan dengan nilai CF logam Cd yang ditemukan pada sedimen perairan Segara Anakan-Cilacap (Hidayati *et al.*, 2014) yaitu rata-rata 10,8 (tingkat kontaminasi sangat tinggi; $CF \geq 6$) dan perairan pantai Coromandel, India (Anbuselvan *et al.*, 2018) yaitu berkisar antara 16,5-99,0 (tingkat kontaminasi sangat tinggi; $CF \geq 6$). Bila dibandingkan dengan nilai tingkat kontaminasi logam Cd yang ditemukan di pesisir Teluk Ambon (rata-rata 0,0467 untuk bulan mei dan 0,0374 untuk bulan Desember), nilai tingkat kontaminasi logam

Tabel 3. Klasifikasi resiko sesuai dengan RAC

Kategori	Resiko	Logam pada fraksi exchangeable + carbonate (%)
1	Tidak beresiko/berbahaya (<i>No risk</i>)	< 1
2	Resiko/bahaya rendah (<i>Low risk</i>)	1-10
3	Resiko/bahaya sedang (<i>Medium risk</i>)	11-30
4	Resiko/bahaya tinggi (<i>High risk</i>)	31-50
5	Resiko/bahaya sangat tinggi (<i>Very high risk</i>)	>50

Tabel 4. Perbandingan RAC (%) pada logam berat Cd, Cu dan Zn dalam sedimen

Logam berat	Stasiun					
	1	2	3	4	5	6
Cd	52,56 (V)	53,98 (V)	61,39 (V)	63,92 (V)	47,45 (H)	58,48 (V)
Cu	0 (N)	0,06 (N)	0 (N)	0,74 (N)	0,52 (N)	1,87 (L)
Zn	2,51 (L)	2,91 (L)	7,23 (L)	4,25 (L)	1,57 (N)	5,07 (L)

Keterangan : N = No risk; L = Low risk; M = Medium risk; H = High risk; V = Very high risk

Tabel 5. Faktor kontaminasi (CF), indeks geoakumulasi (I-Geo), indeks beban pencemaran (PLI), dan indeks potensi resiko ekologi (RI) di Perairan Estuari Baturusa

Stasiun	Faktor Kontaminasi (CF)			Indeks Geoakumulasi (I-Geo)			PLI	RI
	Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn		
1	2,537	0,295	0,192	0,76	-2,35	-2,96	0,52	77,77
2	2,303	0,571	0,159	0,62	-1,39	-3,24	0,59	72,11
3	2,547	0,253	0,081	0,76	-2,57	-4,21	0,37	77,74
4	2,837	0,233	0,161	0,92	-2,69	-3,22	0,47	86,43
5	2,740	0,546	0,486	0,87	-1,46	-1,63	0,90	85,42
6	2,280	0,321	0,134	0,60	-2,22	-3,48	0,46	70,14

Cd pada perairan Estuari Baturusa masih lebih tinggi (Sukaryono dan Dewa, 2018). Nilai tingkat kontaminasi pada perairan Estuari Baturusa masih lebih tinggi bila dibandingkan dengan nilai CF pada perairan Estuari sepanjang Teluk Bohai, bagian utara Cina ($CF < 1$) (Wu *et al.*, 2014) dan perairan pantai Aljazair ($CF < 1$) (Ahmed *et al.*, 2018). Untuk nilai CF logam Cu pada perairan Estuari Baturusa memiliki status tingkat kontaminasi yang sama $CF < 1$ dengan perairan pantai Aljazair (Ahmed *et al.*, 2018) yaitu tingkat kontaminasi rendah. Sedangkan nilai CF logam Zn pada perairan Estuari Baturusa memiliki tingkat yang lebih rendah bila dibandingkan dengan nilai CF pada perairan pantai Aljazair dan Perairan Estuari sepanjang Teluk Bohai, bagian utara Cina (Tingkat Kontaminasi Sedang/ $1 \leq CF < 3$).

Nilai indeks geoakumulasi (I-Geo) Cd, Cu, dan Zn pada sedimen Perairan Estuari Baturusa menunjukkan kisaran antara 0,60 hingga 0,92, -2,69 hingga -1,39, dan -4,21 hingga -1,63. Nilai indeks geoakumulasi logam Cd pada perairan Estuari Baturusa berada pada status tidak tercemar hingga tercemar sedang ($0 < I_{geo} < 1$), sedangkan untuk logam Cu dan Zn memiliki status tidak tercemar ($I_{geo} \leq 0$). Status tidak tercemar ($I_{geo} \leq 0$) pada I-Geo logam Cu dan Zn serta status tidak tercemar hingga tercemar sedang ($0 < I_{geo} < 1$) pada logam Cd juga ditemukan pada perairan Estuari Sungai Yangtze, Cina (Han *et al.*, 2017) dan Estuari Linggi, Malaysia (Elias *et al.*, 2018). Nilai indeks beban pencemaran (PLI) dan indeks potensi resiko ekologi (RI) pada sedimen perairan Estuari Baturusa berkisar antara 0,37-0,90 dan 70,14-86,43. Nilai PLI yang diperoleh pada perairan sedimen perairan Estuari Baturusa menunjukkan kategori tidak tercemar ($PLI < 1$).

KESIMPULAN

Nilai CF untuk logam Cu dan Zn yang diperoleh pada sedimen Estuari Baturusa menunjukkan tingkat kontaminasi rendah, sedangkan nilai CF logam Cd menunjukkan tingkat kontaminasi sedang. Nilai indeks geoakumulasi logam Cd berada pada status tidak tercemar hingga tercemar sedang, sedangkan untuk logam Cu dan Zn memiliki status tidak tercemar. Nilai PLI yang diperoleh menunjukkan kategori tidak tercemar. Fraksinasi/ partisi geokimia logam berat Cd, Cu dan Zn dalam sedimen dicirikan dengan adanya fraksi *exchangeable*, fraksi karbonat, fraksi *reducible* (Fe-Mn oxide), fraksi *oxidizable* (organik), dan fraksi residual. Pada logam berat Cu dan Zn utamanya cenderung tersimpan atau terikat pada fraksi residual. Fraksi residual yang dominan menunjukkan logam berat Cu dan Zn utamanya berasal dari sumber alami. Secara umum, fraksi residual yang merupakan bagian stabil memperlihatkan toksisitas yang rendah dan tidak tersedia untuk di absorpsi oleh biota perairan/ *non bioavailable*. Fraksinasi logam berat Cd lebih terikat pada fraksi non residual atau non resisten. Tingginya persentase fraksi non residual atau non resisten menunjukkan masukan logam berat Cd utamanya berasal dari aktivitas manusia/ antropogenik daripada sumber alami. Evaluasi resiko dari logam berat Cd yaitu resiko/ bahaya sangat tinggi hingga tinggi, sedangkan logam berat Cu dan Zn tidak beresiko/ berbahaya hingga rendah. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa logam berat Cd kemungkinan berbahaya bagi lingkungan serta memiliki mobilitas lebih tinggi daripada logam lain sehingga beresiko lebih tinggi tersedia dalam tubuh biota.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian serta publikasi ini didukung oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) - Universitas Bangka Belitung (UBB) melalui dana skema Penelitian Dosen Tingkat Fakultas (PDTF) Tahun 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, I., Mostefa, B., Bernard, A., & Olivier, R. (2018). Levels and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments of fishing grounds along Algerian coast. *Marine Pollution Bulletin*, 136, 322-333. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.09.029.
- Alahabadi, A. & Malvandi, H. (2018). Contamination and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals and Metalloids In Surface Sediments of The Tajan River, Iran. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 741-749. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.06.030.
- Alisa, C.A.G., Albirqi, M.S., & Faizal, I. (2020). Kandungan Timbal dan Kadmium pada Air dan Sedimen di Perairan Pulau Untung Jawa, Jakarta. *Jurnal Akuatika Indonesia*, 5(1), 21-26. doi : <https://doi.org/10.24198/jaki.v5i1.26523>
- Anbuselvan, N., Senthil, N.D. & Sridharan, M. (2018). Heavy Metal Assessment in Surface Sediments off Coromandel Coast of India. *Marine Pollution Bulletin*, 131(2018), 712-726. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.04.074
- Arifin, Z. & Fadhlina, D. (2009). Fraksinasi Logam Berat Pb, Cd, Cu, dan Zn dalam Sedimen dan Bioavailabilitasnya bagi Biota di Perairan Teluk Jakarta. *Jurnal Ilmu Kelautan*, 14(1), 27-32.
- Arifin, Z. (2011). Konsentrasi Logam Berat di Air, Sedimen dan Biota di Teluk Kelabat, Pulau Bangka. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropisi*, 3(1), 104-114. doi: 10.29244/jitkt.v3i1.7839
- Australian and New Zealand Environment and Conservation Council (ANZECC) and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand (ARMCANZ). (2000). National water quality management strategy. In: Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality. Australian and New Zealand Environment and Conservation Council and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand. Canberra. 29p.
- Bastami, K.D., Neyestani, M.R., Molamohyedin, N., Shafeian, E., Haghparast, S., Shirzadi, I.A., & Baniamam, M. (2018). Bioavailability, Mobility, and Origination of Metals in Sediments from Anzali Wetland, Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 136, 22-32. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.08.059
- Bastami, K.D., Neyestani, M.R., Esmailzadeh, M., Haghparast, S., Alavi, C., Fathi, S., Nourbakhsh, S., Shirzadi, E.A., & Parhizgar, R. (2017). Geochemical Speciation, Bioavailability and Source Identification of Selected Metals in Surface Sediments of The Southern Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 114, 1014-1023. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.11.025
- Canadian Council of Ministers of the Environment. (2002). Canadian environmental quality guidelines, national guidelines and standards office. Winnipeg: Canadian Council of Ministers of the Environment. 12p.
- Diyat, J.W., Wulandari, S.Y., & Muslim. (2015). Sebaran kandungan total fosfat dan karbon organik di Perairan Muara Sungai Banjir Kanal Timur, Semarang. *Jurnal Oseanografi*, 4(1), 55-63.
- Dwikartika, M., Muslim, & Makmur, M. (2015). Studi Karbon Organik di Sedimen dengan Ukuran Butir pada Perairan Teluk Jakarta. *Jurnal Oseanografi*, 4(4), 718-722.
- Delshab, H., Farshchi, P., & Keshavarzi, B. (2017). Geochemical Distribution, Fractionation and Contamination Assessment of Heavy Metals in Marine Sediments of The Asaluyeh Port, Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 115(1-2), 401-411. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.11.033
- Dias, H.Q & Nayak, G.N. (2016). Geochemistry and Bioavailability of Mudflats and Mangrove Sediments and Their Effect on Bioaccumulation in Selected Organisms Within a Tropical (Zuari) Estuary, Goa, India. *Marine Pollution Bulletin*, 105(1), 227-236. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.02.026
- Elias, M. S., Ibrahim, S., Samuding, K., Ab Rahman, S., & Hashim, A. (2018). The Sources and Ecological Risk Assessment of Elemental Pollution in Sediment of Linggi Estuary, Malaysia. *Marine Pollution Bulletin*, 137(2018), 646-655. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.11.006.
- Fernandes, L.L. & Nayak, G.N. (2014). Characterizing Metal Levels and Their Speciation in Sediments along Mumbai Coast, India. *Marine Pollution Bulletin*, 79(2014), 371-378. doi : 10.1016/j.marpolbul.2013.11.013

- Gao, X., Yang, Y., & Wang, C. (2012). Geochemistry of Organic Carbon and Nitrogen In Surface Sediments of Coastal Bohai Bay Inferred From Their Ratios and Stable Isotopic Signatures. *Marine Pollution Bulletin*, 64, 1148-1155. doi : 10.1016/j.marpolbul.2012.03.028
- Gu, Y.G. & Lin, Q. (2016). Trace Metals in a Sediment Core from The Largest Mariculture Base of The Eastern Guangdong Coast, South China: Vertical Distribution, Speciation, and Biological Risk. *Marine Pollution Bulletin*, 113(1-2):520-525. doi : 10.1016/j.marpolbul.2016.08.029
- Gu, Y.G., Ouyang, J., Ning, J.J., & Wang, Z.H. (2017). Distribution and sources of organic carbon, nitrogen and their isotopes in surface sediments from the largest mariculture zone of The Eastern Guangdong Coast, South China. *Marine Pollution Bulletin*, 120(1-2):286-291. doi : 10.1016/j.marpolbul.2017.05.013
- Hakanson, L. (1980). An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control. A Sedimentological Approach. *Water Research*, 14, 975-1001.
- Han, D., Cheng, J., Hu, X., Jiang, Z., Mo, L., Xu, H., Ma, Y., Chen, X., & Wang, H. (2017). Spatial Distribution, Risk Assessment and Source Identification of Heavy Metals in Sediments of The Yangtze River Estuary, China. *Marine Pollution Bulletin*, 115(1-2), 141-148. doi : 10.1016/j.marpolbul.2016.11.062
- Harmesa, H., Lestari, L., & Budiyanto, F. (2020). Distribusi Logam Berat dalam Air Laut dan Sedimen di Perairan Cimanuk, Jawa Barat. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 5(1), 19-32. doi : 10.14203/oldi.2020.v5i1.310.
- Helali, M.A., Oueslati, W., Zaaboub, N., Added, A. & Aleya, L. (2016). Bioavailability and Assessment of Heavy Metal Pollution in Sediment Cores off The Mejerda River Delta (Gulf of Tunis): How useful is a Multiproxy Approach. *Marine Pollution Bulletin*, 105(1), 215-226. doi : 10.1016/j.marpolbul.2016.02.027
- Hidayati, N.V., Siregar, A.S., Sari, L.K., & Putra, G.L. (2014). Pendugaan Tingkat Kontaminasi Logam Berat Pb, Cd Dan Cr Pada Air Dan Sedimen Di Perairan Segara Anakan, Cilacap. *Omni-Akuatika*, 10(1), 30-39. doi: 10.20884/1.oa.2014.10.1.14
- Holme, N.A. & Mc Intyre, A.D. (1984). *Methods for The Study of Marine Benthos*. 2nd edition. Oxford: Blackwell Scientific Publication.
- Kadhun, S.A., Ishak, M.Y., Zulkifli, S.Z., & Hashim, R.B. (2015). Evaluation of The Status and Distributions of Heavy Metal Pollution in Surface Sediments of The Langat River Basin in Selangor Malaysia. *Marine Pollution Bulletin*, 101(1), 391-396. doi : 10.1016/j.marpolbul.2015.10.012
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2016). *Pola Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Bangka*.
- Kolibongsi, D. (2016). *Geokimia Logam Berat dalam Sedimen di Perairan Selat Karimata*. Tesis. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. 71 hlm.
- Kusuma, A.H., Prartono, T., Atmadipoera, A.S., & Arifin, T. (2015). Sebaran Logam Berat Terlarut dan Terendapkan di Perairan Teluk Jakarta pada Bulan September 2014. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 6(1), 41-49. doi: 10.24319/jtpk.6.41-49
- Lestari & Budiyanto, F. (2013). Konsentrasi Hg, Cd, Cu, Pb, dan Zn dalam Sedimen di Perairan Gresik. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 5(1), 182-191. doi: 10.29244/jitkt.v5i1.7764
- Liang, X., Song, J., Duan, L., Yuan, H., Li, X., Li, N., Qu, B., Wang, Q. & Xing, J. (2018). Source Identification and Risk Assessment Based on Fractionation of Heavy Metals in Surface Sediments of Jiaozhou Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, 128(2018), 548-556. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.02.008
- Liu, J.J., Ni, Z.X., Diao, Z.H., Hu, Y.X. & Xu, X.R. (2018). Contamination Level, Chemical Fraction and Ecological Risk of Heavy Metals in Sediments from Daya Bay, South China Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 128, 132-139. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.01.021
- Liu, Z., Pan, S., Sun, Z., Ma, R., Chen, L., Wang, Y., & Wang, S. (2015). Heavy Metal Spatial Variability and Historical Changes in The Yangtze River Estuary and North Jiangsu Tidal Flat. *Marine Pollution Bulletin*, 98(1-2), 115-129. doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.07.006
- Li, H., Lin, L., Ye, S., Li, H. & Fan, J. (2017). Assessment of Nutrient and Heavy Metal Contamination in the Seawater and Sediment of Yalujiang Estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 117(1-2), 499-506. doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.01.069
- Muslim, Prihatiningsih, W.R., & Arjuna, R.A. (2016). Aktivitas ¹³⁷Cs dan Total Organik Karbon dalam

- Sedimen di Sekitar Pulau Tikus Samudera Hindia. *Jurnal Keselamatan Radiasi dan Lingkungan*, 1(1), 6-10.
- Najamuddin. (2017). *Dinamika Logam Berat Pb dan Zn di Perairan Estuari Jeneberang, Makassar*. Disertasi. IPB. Bogor.
- Neyestani, M.R., Bastami, K.D., Esmailzadeh, M., Shemirani, F., Kazaali, A., Molamohyeddin, N., Afkhami, M., Nourbakhsh, S., Dehghani, M., Aghaei, S., & Firouzbakht, M. (2016). Geochemical Speciation and Ecological Risk Assessment of Selected Metals in The Surface Sediments of The Northern Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 109(1), 603-611. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.05.024
- Nugraha, M.A., Pamungkas, A., Syari, I.A., Sari, S.P., Umroh, Hudatwi, M., Utami, E., Akhrianti, I., & Priyambada, A. (2022). Penilaian Pencemaran Logam Berat Cd, Pb, Cu, dan Zn pada Sedimen Permukaan Perairan Matras, Sungailiat, Bangka. *Jurnal Kelautan Tropis*, 25(1), 70-78. doi: 10.14710/jkt.v25i1.12317
- Nugraha, M.A., Hudatwi, M., & Sari, F.I.P. (2019). Source Identification, Bioavailability, and Risk Assessment of Heavy Metals Pb, Cu, and Zn in Surface Sediments of Kelabat Bay, Bangka Island. *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 24(3), 139-145. doi: 10.14710/ik.ijms.24.3.139-145
- Nugroho, S.H. & Basit, A. (2014). Sebaran Sedimen berdasarkan Analisis Ukuran Butir di Teluk Weda, Maluku Utara. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 6(1), 229-240. doi: 10.29244/jitkt.v6i1.8644
- Nursiani, T., Putra, Y.S., & Muhandi. (2020). Studi Ukuran Diameter Butir Sedimen Dasar terhadap Kecepatan Arus di Sungai Pawan, Kabupaten Ketapang. *Prisma Fisika*, 8(1), 17-20. doi: 10.26418/pf.v8i1.39868
- Permanawati, Y. & Hernawan, U. (2018). Distribusi Karbon Organik dalam Sedimen Inti di Perairan Lembata, Laut Flores. *Jurnal Geologi Kelautan*, 16(1), 51-66.
- Prartono, T., Razak, H. & Gunawan, I. (2009). Pestisida Organoklorine di Sedimen Pesisir Muara Citarum, Teluk Jakarta: Peran Penting Fraksi Halus Sedimen sebagai Pentransport DDT dan Proses Diagenesanya. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 1(2), 11-21. doi : 10.29244/jitkt.v1i2.7869
- Prianto, E. & Husnah. (2009). Penambangan Timah Inkonvensional: Dampaknya terhadap Kerusakan Biodiversitas Perairan Umum di Pulau Bangka. *Bawal Widya Riset Perikanan Tangkap*, 2(5), 193-198. doi: 10.15578/bawal.2.5.2009.193-198
- Putri, W.A.E., Susanti, M.I., Rozirwan, Hendri, M., & Agustriani, F. (2022). Status Cemar Logam Berat di Sedimen Muara Sungai Musi Sumatera Selatan. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(2), 177-184. doi: 10.14710/buloma.v11i2.39765
- Putri, R.A.P., Muslim, & Makmur, M. (2015). Sebaran Karbon Organik Total pada Sedimen di Perairan Laut Belitung. *Jurnal Oseanografi*, 4(4), 765-770.
- Randa, A.M., Patandianan, E.A., & Marisan, I. (2021). Sebaran Sedimen berdasarkan Analisis Ukuran Butir di Sepanjang Sungai Nuni Kabupaten Manokwari Provinsi Papua Barat. *Jurnal Manajemen Riset dan Teknologi*, 3(1), 8-17. doi : 10.51742/ojrm.v3i1.412
- Qiu, J., Liu, J., Li, M., Wang, S., Bai, W. & Zhang, D. (2018). Assessment of Heavy Metal Contamination in Surface Sediments from The Nearshore Zone, Southern Jiangsu Province, China. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 281-288. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.05.055
- Salman, S. (2020). Survei Parameter Fisika-Kimia Perairan dan Konsentrasi Logam Berat pada Kerang Hijau di Pulau Reklamasi C dan D, Teluk Jakarta. *Bio-Lectura : Jurnal Pendidikan Biologi*, 7(2), 122-129.
- Shen, J., Liu, E., Zhu, Y., Hu, S. & Qu, W. (2007). Distribution and Chemical Fractionation of Heavy Metals in Recen Sediments from Lake Taihu, China. *Hydrobiologia*, 581:141-150. doi:10.1007/s10750-006-0523-3
- Siregar, T.A., Satriadi, A., Atmodjo, W., Muslim, & Handoyo, G. (2021). Sebaran Karbon Organik Total dalam Sedimen di Muara Sungai Jajar, Kabupaten Demak. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(2), 1-8.
- Situmorang, S.P., H.S. Sanusi, Z. Arifin. (2010). Geokimia Logam Berat (Pb, Cr, dan Cu) dalam Sedimen dan Potensi Ketersediannya pada Biota Bentik di Perairan Delta Berau, Kalimantan Timur. *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 2, 415-425.

- Susantoro, T.M., Sunarjanto, D. & Andayani, A. (2015). Distribusi Logam Berat pada Sedimen di Perairan Muara dan Laut Propinsi Jambi. *Jurnal Kelautan Nasional*, 10(1), 1-11. doi: 10.15578/jkn.v10i1.4
- Sukaryono, I.D. & Dewa, R.P. (2018). Pemantauan Kandungan Logam Berat Pb dan Cd pada Sedimen di Pesisir Teluk Ambon Dalam sebagai Indikasi Tingkat Pencemaran. *Majalah Biam*, 14(1), 1-7.
- Takarina, N.D., Bengen, D.G., Sanusi, H.S. & Riani, E. (2013). Geochemical Fractionation of Copper (Cu), Lead (Pb), and Zinc (Zn) in Sediment and their Correlations with Concentrations in Bivalve Mollusc *Anadara indica* from Coastal Area of Banten Province, Indonesia. *International Journal of Marine Science*, 3(30), 238-243.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2002). Mid-Atlantic Integrated Assessment (MAIA) Estuaries 1997-98: Summary Report, EPA/620/R-02/003, 115 pp.
- Wang, J., Liu, R., Zhang, P., Yu, W., Shen, Z., & Feng, C. (2014). Spatial Variation, Environmental Assessment and Source Identification of Heavy Metals In Sediments of the Yangtze River Estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 87, 364-373. doi: 10.1016/j.marpolbul.2014.07.048
- Wang, Z., Wang, Y., Chen, L., Yan, C., Yan, Y., Chi, Q. (2015). Assessment of Metal Contamination in Coastal Sediments of The Maluan Bay (China) using Geochemical Indices and Multivariate Statistical Approach. *Marine Pollution Bulletin*, 99, 43-53. doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.07.064
- Welcherr, F.J. (1963). *Methods Chemical Analysis*. Sixth edition, vol.2, part B.
- Wu, G., Shang, J., Pan, L., & Wang, Z. (2014). Heavy Metals In Surface Sediments From Nine Estuaries Along The Coast Of Bohai Bay, Northern China. *Marine Pollution Bulletin*, 82, 194-200.
- Zhou, Y.W., Zhao, B., Peng, Y.S., & Chen, G.Z. (2010). Influence of Mangrove Reforestation on Heavy Metal Accumulation and Speciation in Intertidal Sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 60(8), 1319-1324. doi: 10.1016/j.marpolbul.2010.03.010