

KONTAMINASI DAN DISTRIBUSI LOGAM BERAT TEMBAGA (CU) DAN ZINK (ZN) PADA SEDIMEN PERAIRAN BATURUSA, PROVINSI KEPULAUAN BANGKA BELITUNG

CONTAMINATION AND DISTRIBUTION OF COPPER (CU) AND ZINC (ZN) HEAVY METALS IN THE SEDIMENT OF THE BATURUSA, BANGKA BELITUNG ISLANDS PROVINCE

Jodi Rohman*, Mohammad Agung Nugraha, Irma Akhrianti

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

*Kampus Terpadu Universitas Bangka Belitung, Gedung Teladan, Bangka,
Kepulauan Bangka Belitung, 33172 Indonesia*

Email: jhodyferry26@gmail.com

ABSTRAK

Sungai Baturusa memiliki panjang 31,25 km, lebar bagian hulu 5,2 m dan bagian hilir 200 m. Aliran Sungai Baturusa menerima masukan berbagai macam aktivitas mulai dari industri, pertambangan, perikanan, perkebunan berskala besar serta jalur lintas pelabuhan kapal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi Logam Berat Tembaga (Cu) dan Zink (Zn) serta status tingkat kontaminasi, pencemaran, dan pengayaan logam berat tembaga (Cu) dan zink (Zn) pada Perairan Baturusa, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Analisis logam berat menggunakan metode AAS. Konsentrasi Logam Berat Cu dan Zn berkisar antara 0,73-2,29 mg/kg dan berkisar 1,45-14,74 mg/kg. Nilai faktor kontaminasi Logam Berat Cu dan Zn termasuk dalam tingkat kontaminasi rendah ($CF < 1$) dengan kisaran Cu 0,016-0,050 dan Zn 0,015-0,155. Hasil nilai I-geo Logam Berat Cu berkisar -4,881 sampai -6,530 dan Logam Berat Zn berkisar -3,273 sampai -6,618 yang menunjukkan bahwa nilai I-geo (< 0) berarti termasuk tidak tercemar logam berat. Nilai PLI berkisar antara 0,01-0,08 menunjukkan tidak tercemar. Nilai EF pada Logam Berat Zn lebih besar daripada Logam Berat Cu ($Zn > Cu$), nilai Cu 2,32-7,54 dan Zn 2,59-11,27. Nilai EF Logam Berat Cu dan Zn yaitu termasuk dalam kategori tingkat pengayaan sedang sampai dengan cukup. Variasi nilai EF tersebut di perairan Estuari Baturusa, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung memperlihatkan adanya masukan sumber antropogenik di semua stasiun serta masukan proses alami pelapukan dari daratan (baik secara fisik dan kimia).

Kata kunci : Baturusa, Kontaminasi, Logam Berat, Sedimen

ABSTRACT

The Baturusa River is 31.25 km long, upstream 5.2 m wide and downstream 200 m. The Baturusa River receives input from various activities ranging from industry, mining, fisheries, large-scale plantations and shipping ports. This research aims to determine the concentration of the heavy metals Copper (Cu) and Zinc (Zn) as well as the status of the level of contamination, contamination and enrichment of the heavy metals copper (Cu) and zinc (Zn) in Baturusa Waters, Bangka Belitung Islands Province. Heavy metal analysis using the AAS method. Concentrations of heavy metals Cu and Zn ranged from 0.73-2.29 mg/kg and ranged from 1.45-14.74 mg/kg. The contamination factor values for heavy metals Cu and Zn are included in the low contamination level ($CF < 1$) with a range of Cu 0.016-0.050 and Zn 0.015-0.155. The results of the I-geo value for Heavy Metal Cu range from -4.881 to -6.530 and for Heavy Metal Zn range from -3.273 to -6.618 which shows that the I-geo value (< 0) means it is not contaminated with heavy metals. The PLI value ranges from 0.01-0.08, indicating it is not contaminated. The EF value for the heavy metal Zn is greater than for the heavy metal Cu ($Zn > Cu$), the value for Cu is 2.32-7.54 and Zn 2.59-11.27. The EF values of the heavy metals Cu and Zn are included in the moderate to sufficient enrichment level category. Variations in EF values in the waters of the Baturusa Estuary, Bangka Belitung Islands Province show that there is input from anthropogenic sources at all stations as well as input from natural weathering processes from land (both physical and chemical).

Keywords : Baturusa, Contamination, Heavy Metals, Sediment

PENDAHULUAN

Daerah Sungai Batu Rusa memiliki panjang sekitar 31,25 km dan lebar bagian hulu 5,2 m dan bagian hilir 200 m. Daerah Aliran Sungai Baturusa ini memiliki berbagai macam aktivitas mulai dari industri, pertambangan, perikanan, perkebunan berskala besar serta jalur lintas pelabuhan kapal. Aktivitas tersebut dilakukan secara langsung maupun tidak langsung dapat berpotensi terjadinya pencemaran di perairan tersebut. Berbagai kegiatan industri serta aktivitas antropogenik berupa pertambangan Timah Inkonsvensional (TI) yang berada di aliran sungai akan menghasilkan limbah sehingga terjadi pencemaran dan penurunan kualitas air serta sedimen di perairan (Saputro et al. 2014; Mentari et al. 2017). Kegiatan penambangan yang melakukan pembuangan *tailing* dapat meningkatkan kandungan logam berat yang signifikan (Herman & Zulkifli 2006). Pencemaran logam pada penambangan timah merupakan logam yang terdapat di alam sehingga kemudian mencemari perairan dalam proses penambangannya. Keberadaan industri juga mengindikasikan telah terjadinya pencemaran logam berat pada perairan sekitar akibat limbah hasil produksi yang menggunakan logam berat sebagai bahan pengawet atau katalisator, fungisida, dan bahan tambahan, sehingga keberadaan industri menambah potensi terjadinya pencemaran logam berat (Murtini & Peranginangin 2006).

Sumber bahan pencemar di perairan dihasilkan dari berbagai aktivitas mulai dari penambangan, industri, limbah rumah tangga dan perkotaan, transportasi darat maupun laut yang berada disekitar perairan diantaranya Logam Berat Tembaga (Cu) dan Zink (Zn) (Arifin & Fadhlina 2009). Pencemaran ekosistem di perairan oleh logam berat adalah masalah umum yang terjadi di seluruh dunia. Kerusakan ekosistem di perairan oleh polusi bahan kimia dan sebagian polusi berasal dari sungai dan sumber-sumber kecil. Selain itu, wilayah perairan pesisir juga dipengaruhi oleh limbah baik itu limbah industri maupun limbah antropogenik yang tidak bersih sehingga mengakibatkan debit limbah yang masuk ke laut semakin meningkat. Hal tersebut dapat mengakibatkan biota yang berada di sekitarnya mengalami kematian akibat dari limbah tersebut (Handayanto et al. 2017).

Sedimen merupakan bagian yang penting pada suatu ekosistem, karena sedimen dapat memberikan informasi penting proses fisik, kimia, dan biologi yang terjadi di

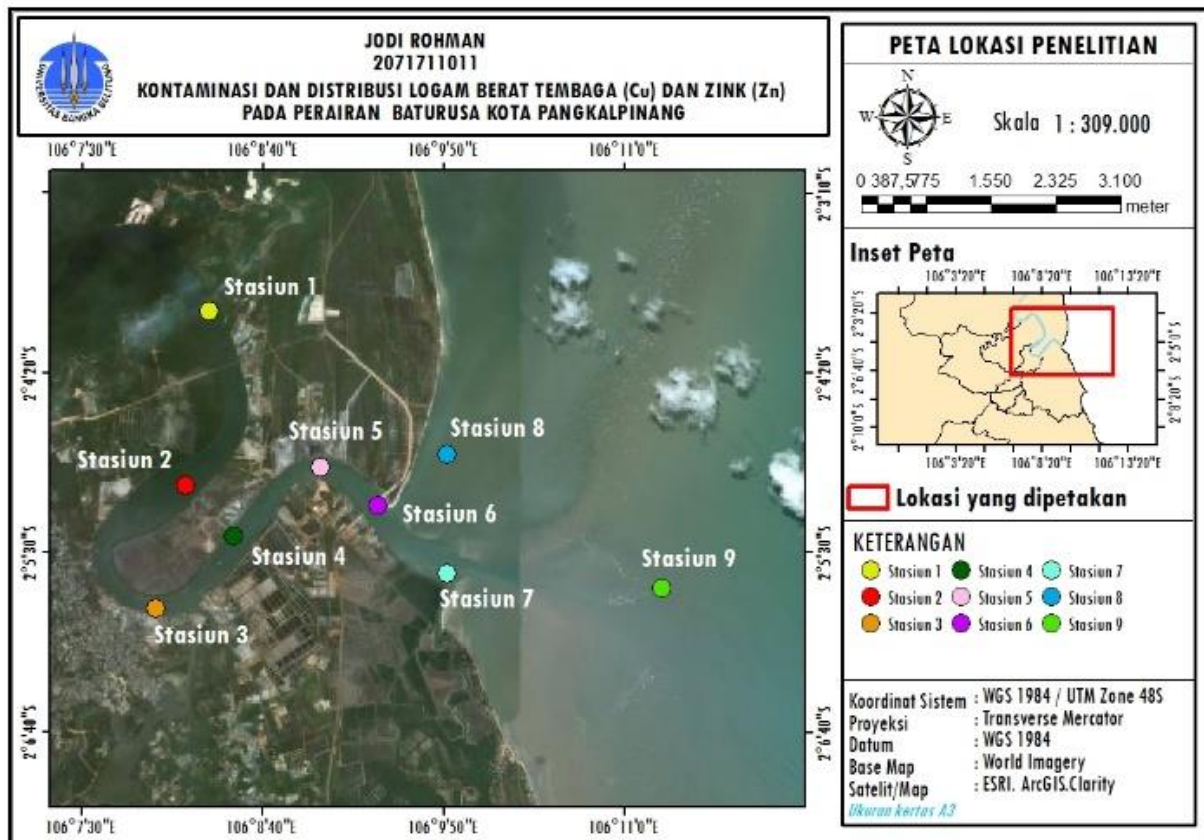
lingkungan pengendapan (Wang et al. 2014). Perubahan lingkungan pengendapan sebagai akibat pengaruh dari daratan dan laut dapat terekam pada lapisan sedimen (Permanawati et al. 2016).

Pengendapan Logam berat yang terakumulasi dalam sedimen perairan Baturusa karena aktivitas antropogenik dan proses alami dapat dievaluasi dengan menggunakan indeks lingkungan, seperti kontaminasi faktor/ *contamination factor* (CF), indeks geoakumulasi (I-Geo), indeks beban polusi/ *Pollution Load Index* (PLI), dan faktor pengkayaan/ *Enrichment Factor* (EF) (Nugraha et al. 2022). Logam berat yang terus menerus mengendap di Perairan Baturusa pada akhirnya akan mempengaruhi kualitas sedimen di daerah kajian dan akan berpengaruh langsung terhadap biota yang ada disekitarnya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui konsentrasi Logam Berat Tembaga (Cu) dan Zink (Zn) serta status tingkat kontaminasi, pencemaran, dan pengayaan logam berat tembaga (Cu) dan zink (Zn) pada Perairan Baturusa, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung.

METODE PENELITIAN

Waktu pengambilan sampel pada Perairan Baturusa, dilaksanakan di bulan Januari 2021. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Pengambilan sampel dilakukan pada 9 titik sampling dan dilakukan 3 kali pengulangan serta dikomposit di Perairan Baturusa. Teknik sampling yang digunakan adalah *purposive sampling*. Pengambilan sampel sedimen menggunakan *grab sampler*. Sampel sedimen diambil 500 gram kemudian sampel dimasukkan kedalam plastik sampel (Istiqomah et al. 2014). Pengambilan sedimen dilakukan sesuai dengan metode yang digunakan oleh Hutagalung et al. (1997). Sampel sedimen yang diperoleh didinginkan dengan *ice gel* dan disimpan di dalam *cold box*. Setelah di laboratorium sampel sedimen disimpan di dalam *freezer* hingga analisis lebih lanjut (Ahmad 2013).

Pengukuran sedimen dimulai dengan melakukan preparasi sampel sedimen, yang diawali dengan menghaluskan sampel sedimen permukaan dan dikeringkan dengan cara diangin-anginkan untuk menghilangkan kadar air yang ada. Selanjutnya, contoh sedimen dimasukkan dalam cawan teflon dan dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam. Setelah kering dikocok beberapa kali dengan air suling. Contoh



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian Perairan Baturusa, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung

sedimen dikeringkan kembali pada suhu 100°C selama 24 jam, kemudian digerus hingga halus. Sebanyak 5 gram contoh sedimen kering dimasukkan dalam cawan teflon, didestruksi dengan menggunakan HNO₃/HCl pekat dan dibiarkan pada suhu ruang sekitar 4 jam. Destruksi dilanjutkan pada suhu 90 °C selama 8 jam. Hasil destruksi ini disaring dan filtratnya ditampung dalam labu ukur 50 mL dan diencerkan dengan aquades sampai tanda batas. Setelah didapatkan hasil sedimen yang telah dipreparasi, maka langkah selanjutnya adalah dilakukan pembacaan konsentrasi logam berat dengan menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom-Nyala dengan menggunakan AAS (AA-6800) (Siaka 2008; Ika *et al.* 2013). Untuk penentuan tekstur sedimen diuji dengan menggunakan metode ayakan kering dan pemipetan (Buchanan 1997). Setelah itu, dilakukan perhitungan untuk memperoleh nilai persentase setiap fraksi setelah didapatkan nilai persentase fraksi, kemudian dilakukan penamaan sesuai dengan klasifikasi *wenworth* segitiga penamaan sedimen (Kinasih *et al.* 2015).

Nilai faktor kontaminasi logam berat di perairan menggunakan rumus (Wirdianti 2018) :

$$CF = \frac{C_n}{C_n \text{ Background } (B_n)}$$

Keterangan : C_n = Konsentrasi Logam x dalam contoh; C_n Background (B_n) = Konsentrasi Logam x di alam (Background); Background (B_n) = Tembaga (Cu) 45 ppm, Zink (Zn) 95 ppm (Turekian & Wedepohl, 1961)

Tingkat kriteria dari CF (Ahmad 2013) yaitu CF<1, Tingkat Kontaminasi Rendah; 1<CF<3, Tingkat Kontaminasi Sedang; 3<CF<6, Tingkat Kontaminasi Cukup; CF>6, Tingkat Kontaminasi Sangat Parah

Perhitungan nilai indeks geokumulasi logam berat di perairan menggunakan rumus sebagai berikut (Wirdianti 2018):

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1,5 \times B_n} \right)$$

Keterangan : I-geo = Indeks Geokumulasi; C_n = Konsentrasi Logam x dalam contoh; C_n Background (B_n) = Konsentrasi Logam x di alam (Background)

Tingkat kriteria I-geo (Ahmad 2013) yaitu I-geo<0, Tidak Tercemar; 0<I-geo<1, Tercemar Ringan; 1<I-geo<2, Tercemar Sedang; 2<I-geo<3, Tercemar Cukup Parah; 3<I-geo<4, Tercemar Parah; 4<I-geo<5, Tercemar Luar Biasa Parah; I-geo>5, Tercemar Sangat Luar Biasa Parah

Perhitungan nilai indeks beban pencemar logam berat di perairan menggunakan rumus sebagai berikut (Wirdianti 2018):

$$PLI = [C_f1 \times C_f2 \times C_f3 \times \dots \times C_fn]^{\frac{1}{n}}$$

Keterangan : PLI = Indeks Beban Pencemar; n = Jumlah logam; C_f = Nilai kontaminasi faktor

Tingkat kriteria PLI (Ahmad 2013) yaitu <0 = Tidak Tercemar; 0-2 = Tidak Tercemar - Tersemar Ringan; 2-4 = Tercemar Sedang; 4-6 = Tercemar Parah; 6-8 = Tercemar Sangat Parah; 8-10 = Tercemar Luar Biasa Parah

Perhitungan nilai faktor pengkayaan (EF) logam berat di perairan menggunakan rumus sebagai berikut (Wirdianti 2018):

$$EF = \frac{\left(\frac{C_n}{C_{ref}}\right)}{\left(\frac{B_n}{B_{ref}}\right)}$$

Keterangan : C_n = Konsentrasi elemen "n" dalam sampel sedimen; C_{ref} = Konsentrasi elemen referensi (Fe) dalam sampel sedimen; B_n = Nilai elemen "n" di alam; B_{ref} = Konsentrasi elemen referensi di alam

Tingkat kriteria EF (Ahmad 2013) yaitu EF<2 = Kurang-Pengkayaan Minimal; EF 2-5 = Pengkayaan Sedang (*moderate*); EF 5-20 = Pengkayaan Cukup (*significant*); EF 20-40 = Pengkayaan Tinggi (*very high*); EF >40 = Pengkayaan Sangat Tinggi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi Logam Berat Cu Pada Sedimen

Pengukuran Logam Berat Cu dalam sedimen Perairan Baturusa secara keseluruhan menunjukkan nilai yang beragam. Hasil dari pengukuran Logam Berat Cu pada 9 stasiun memiliki kisaran 0,73-2,29 mg/kg.

Nilai tertinggi terlihat pada stasiun 3 dengan nilai 2,29 mg/kg. Nilai Logam Berat Cu terendah pada stasiun 6 dengan nilai 0,73 mg/kg. Konsentrasi dan peta distribusi Logam Berat Cu dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 2.

Hasil yang diperoleh jika dibandingkan dengan kandungan Cu alami dalam sedimen sebesar 45 mg/kg (Turekian & Wedepohl 1961). Kadar Logam Berat Cu pada sedimen berada di bawah kandungan Cu alami dalam sedimen. Meskipun kadar Logam Berat Cu masih di bawah kandungan Cu alami tetapi keberadaannya tetap harus diperhitungkan. Penelitian Logam Berat Cu pada sedimen juga dilakukan Ahmad (2013) menunjukkan konsentrasi Cu dalam sedimen sebesar 2,94 mg/kg di Pulau Bangka. Hal tersebut menunjukkan bahwa di Pulau Bangka banyak menerima masukan Logam Berat Cu pada aktivitas pertambangan timah sehingga terjadi pengayaan Logam Berat Cu di sedimen. Selanjutnya, bila dibandingkan dengan nilai konsentrasi Cu yang ditemukan pada Teluk Kelabat dalam-Pulau Bangka (Nugraha et al. 2019) yaitu 0,16-9,54 mg/kg (rata-rata 4,39 mg/kg), nilai yang diperoleh pada perairan Baturusa masih tergolong lebih rendah. Konsentrasi Logam Berat Cu dalam sedimen di Perairan Baturusa dalam kategori rendah karena masih dibawah nilai ambang batas (CCME 2002).

Logam Berat Cu dmasing-masing stasiun distribusinya naik turun secara umum adanya perbedaan konsentrasi antar stasiun ini disebabkan oleh proses fisika.

Tabel 1. Konsentrasi Logam Berat Cu dan Zn pada Sedimen di Perairan Baturusa

Stasiun	Logam Berat Cu (mg/kg)	Logam Berat Zn (mg/kg)
1	1,75	1,45
2	1,95	7,90
3	2,29	5,93
4	1,23	8,57
5	2,10	14,74
6	0,73	9,75
7	1,32	5,74
8	1,36	3,25
9	1,09	5,60
Baku Mutu*		
SQG	18,7	124
PEL	108	271

Keterangan:

*: *Canadian Coastal of Ministers of The Enviroment (CCME) 2002*

ISQG : *Interim Sediment Quality Guidelines*

PEL : *Probable Effect Levels*

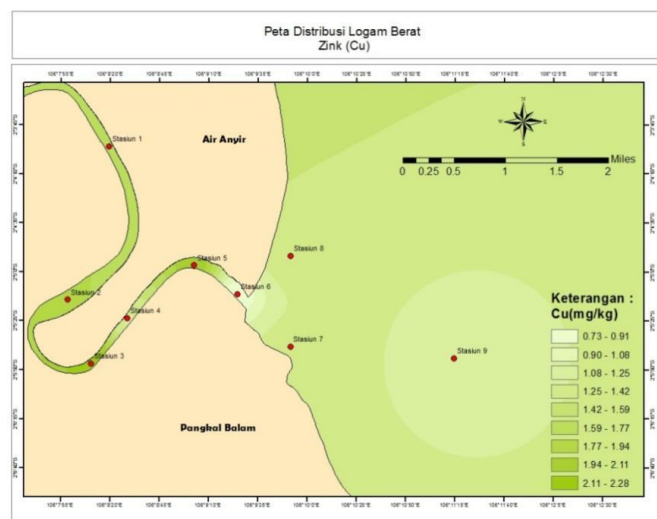
Proses fisika yang diestimasi mampu memiliki pengaruh adalah proses pengadukan dan pengendapan. Hal ini dipengaruhi oleh kecepatan arus dan kedalaman perairan. Perbedaan konsentrasi logam berat bisa dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya disebabkan oleh arus laut (Effendy 2017).

Tingginya Konsentrasi Logam Berat Cu pada stasiun 3 (2,29 mg/kg) dibandingkan dengan beberapa stasiun lainnya, diestimasi adanya pengaruh aktivitas industri *docking* kapal di sekitar stasiun penelitian. Hal tersebut yang menyebabkan adanya kontaminasi limbah Cu sebagai salah satu unsur pembentuk cat pelapis kapal sebagai *antifouling* (Wirdianti 2018). Rendahnya konsentrasi Logam Berat Cu pada stasiun 6 (0,73 mg/kg). Hal ini diestimasi karena adanya perbedaan kecepatan arus kemudian mempengaruhi proses laju pengendapan atau sedimentasi dan mempengaruhi ukuran

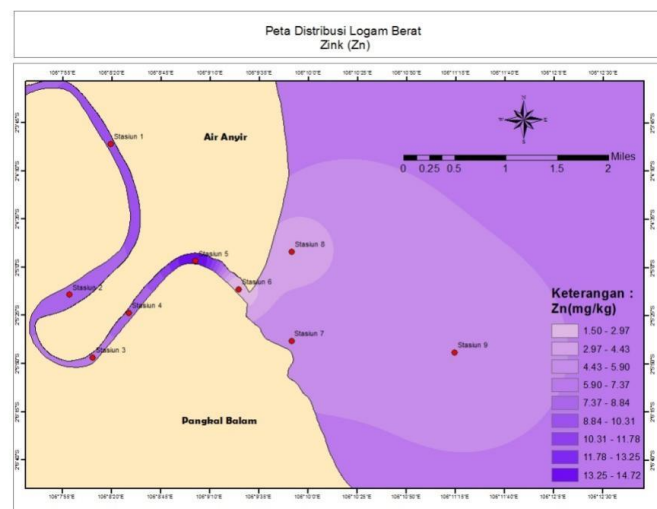
butir sedimen yang terendapkan (Effendy 2017). Logam Berat Cu dapat masuk dalam sistem lingkungan karena aktivitas manusia seperti limbah yang dihasilkan dari industri galangan kapal, digunakan sebagai pengawet, industri pengolahan kayu, dan limbah buangan rumah tangga (Setiawan 2014).

Konsentrasi Logam Berat Zn Pada Sedimen

Konsentrasi nilai Logam Berat Zn dalam sedimen Perairan Baturusa, menunjukkan hasil yang berbeda-beda pada masing-masing stasiun. Hasil dari pengukuran Logam Berat Zn di sembilan stasiun memiliki kisaran 1,45–14,74 mg/kg. Nilai tertinggi menunjukkan pada stasiun 5 dengan nilai 14,74 mg/kg sedangkan nilai Logam Berat Zn terendah pada stasiun 1 dengan nilai 1,45 mg/kg. Konsentrasi dan peta distribusi Logam Berat Zn dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Distribusi Logam Berat Tembaga (Cu) di Perairan Baturusa



Gambar 3. Distribusi Logam Berat Zink (Zn) di Perairan Baturusa

Secara umum terjadi perbedaan nilai konsentrasi Logam Berat Zn pada masing-masing stasiun. Hal ini diestimasi karena adanya pengaruh proses fisik seperti proses pengadukan maupun pengendapan. Proses pengadukan maupun pengendapan sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti arus. Hal tersebut akan mempengaruhi proses laju pengendapan atau sedimentasi dan mempengaruhi ukuran butir sedimen yang terendapkan karena tekstur sedimen akan mempengaruhi konsentrasi Logam Berat Zn (Effendy 2017; Susanti 2021).

Tingginya nilai konsentrasi Logam Berat Zn pada stasiun 5 disebabkan adanya masukan dari aktifitas di TPI Pangkal Balam yang berada disekitar lokasi penelitian tersebut. Limbah organik yang berasal dari aktifitas TPI terlihat dari komposisi tekstur sedimen berupa lumpur yang berwarna hitam (Sundararajan et al. 2017). Lumpur yang berwarna hitam mempunyai pori-pori yang berukuran kecil serta daya adsorpsi yang cukup tinggi sehingga logam berat yang didapat juga cukup tinggi (Rochyatun et al. 2006). Rendahnya nilai konsentrasi Logam Berat Zn pada stasiun 1 dibandingkan dengan stasiun yang lainnya. Hal ini diduga ada kaitannya dengan rendahnya kandungan bahan organik total di sedimen. Hal ini didukung oleh penelitian Maslukah (2007) di Perairan Estuari Banjir Kanal Barat, Semarang bahwa rendahnya kandungan bahan organik total ini juga berhubungan dengan tekstur sedimen yang didominasi oleh fraksi pasir. Nilai konsentrasi Logam Berat Zn di Perairan Baturusa ini lebih rendah dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Maslukah (2007) pada Estuari Sungai Banjir Kanal Barat, Semarang (94,11-183,39 mg/kg) dan Siregar dan Edward (2010) pada Perairan Pesisir Kota Dumai (39,47-63,02 mg/kg).

Nilai konsentrasi Logam Berat Zn di Perairan Baturusa walaupun bervariasi pada masing-masing stasiun tergolong normal yaitu berkisar 1,45-14,74 mg/kg. Konsentrasi normal Logam Berat Zn di alam yaitu <70 mg/kg (Harikumar et al. 2010). Berdasarkan Canadian Council of Ministers for the Environment (CCME, 2002) baku mutu Logam Berat Zn dalam sedimen, konsentrasi Logam Berat Zn dalam sedimen di Perairan Baturusa dalam kategori rendah karena masih dibawah nilai ambang batas (CCME 2002).

Faktor Kontaminasi (CF) Logam Berat Cu dan Zn

Faktor kontaminasi dapat menggambarkan tingkat kontaminasi logam

berat tertentu pada suatu perairan. Hasil perhitungan faktor kontaminasi didapatkan dari perbandingan konsentrasi logam berat yang terkandung dengan nilai konsentrasi logam di alam (*background*). Hasil perhitungan nilai faktor kontaminasi (CF) pada Logam Berat Cu dan Zn disajikan pada Tabel 2.

Hasil faktor kontaminasi (CF) Logam Berat Cu dan Zn diperoleh nilai CF termasuk dalam tingkat kontaminasi rendah ($CF < 1$) dengan kisaran Cu 0,016-0,050 dan Zn sebesar 0,015-0,155. Kontaminasi Logam Berat Cu tertinggi pada stasiun 3 dan terendah pada stasiun 6 sedangkan kontaminasi Logam Berat Zn tertinggi pada stasiun 5 dan terendah pada stasiun 6. Nilai faktor kontaminasi Logam Berat Cu dan Zn pada masing-masing stasiun memiliki nilai yang bervariasi. Nilai CF Cu maupun Zn pada stasiun tiga lebih besar dibandingkan dengan stasiun yang lainnya. Hal ini diestimasi adanya pengaruh industri *docking* kapal yang letaknya berada di depan stasiun tiga. Hal ini juga terjadi pada penelitian Wirdianti (2018) di Perairan Kawasan Industri Gresik, Jawa Timur. Perairan pantai yang dekat dengan pelabuhan dan jalur pelayaran pada lokasi tersebut juga dimanfaatkan sebagai tempat *docking* kapal yang bergerak dalam industri pembuatan galangan kapal dapat menyumbang polutan yang mengandung elemen Logam Berat Cu, Zn, dan Fe (Febrita et al. 2013). Fe merupakan elemen yang digunakan dalam produksi kapal sedangkan Cu digunakan sebagai campuran bahan pengawet dalam proses produksi galangan kapal. Zink umumnya digunakan sebagai pelapis logam lain seperti besi dan baja (Ojahan et al. 2017). Keberadaan Logam Berat Zn disebabkan adanya pelepasan pelapis antifouling pada cat kapal yang berada di suatu perairan (Putri et al. 2016).

Indeks Geokumulasi (I-Geo) Logam Berat Cu dan Zn

Hasil dari nilai indeks geokumulasi (I-geo) untuk Logam Berat Cu berkisar antara -4,881 sampai -6,530 (< 0 termasuk tidak tercemar), Logam Berat Zn berkisar antara -3,273 sampai -6,618 (< 0 termasuk tidak tercemar). Indeks geokumulasi Logam Berat Cu tertinggi pada stasiun 3 dan terendah pada stasiun 6 sedangkan indeks geokumulasi Logam Berat Zn tertinggi pada stasiun 5 dan terendah pada stasiun 6. Hasil perhitungan nilai I-geo pada Logam Berat Cu dan Zn disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2. Nilai Faktor Kontaminasi Logam Berat di Perairan Baturusa

Stasiun	Faktor Kontaminasi	
	Tembaga (Cu)	Zink (Zn)
1	0,038	0,062
2	0,043	0,083
3	0,050	0,102
4	0,027	0,090
5	0,046	0,155
6	0,016	0,015
7	0,029	0,060
8	0,030	0,034
9	0,024	0,058

Tabel 3. Hasil Indeks Geokumulasi di Perairan Baturusa

Stasiun	Indek Geoakumulasi (Igeo)	
	Tembaga (Cu)	Zink (Zn)
1	-5,269	-3,869
2	-5,113	-4,172
3	-4,881	-4,586
4	-5,778	-4,055
5	-5,006	-3,273
6	-6,530	-6,618
7	-5,676	-4,633
8	-5,633	-5,545
9	-5,952	-4669

Nilai I-geo yang kurang dari nol ($I\text{-geo} < 0$) menunjukkan bahwa di Perairan Baturusa tergolong tidak tercemar Logam Berat Cu dan Zn.

Indeks Beban Pencemar (PLI) Logam Berat Cu dan Zn

Nilai PLI didapatkan dari penggabungan nilai $n\text{-CF}$ dari semua lokasi penelitian yang kemudian akan dihitung dengan $n\text{-akar}$. Nilai n merupakan jumlah jenis logam berat yang digunakan (Wirdianti 2018). Nilai perhitungan indeks beban pencemar (PLI) Logam Berat Cu dan Zn di Perairan Baturusa disajikan pada Tabel 4.

Nilai PLI di semua stasiun berdasarkan hasil perhitungan berkisar antara 0,01-0,08. Nilai PLI tertinggi pada stasiun 5 sedangkan terendah pada stasiun 6. Nilai PLI di semua stasiun berdasarkan hasil perhitungan berkisar antara 0,01-0,06 secara keseluruhan nilai PLI pada lokasi penelitian tergolong sangat rendah yaitu ($PLI < 1$). Nilai tersebut menunjukkan bahwa Perairan Baturusa tidak tercemar Logam Berat Cu dan Zn. Nilai PLI (< 1) tersebut berbanding lurus dengan penelitan yang dilakukan oleh Ahmad (2013)

di perairan Bangka. Nilai PLI yang diperoleh berada pada kisaran nilai 0,000-0,0376 (< 1) yang berarti sedimen di Perairan Bangka tidak tercemar jika nilai indeks beban pencemar (PLI) kurang dari satu.

Faktor Pengkayaan (EF) Logam Berat Cu dan Zn

Hasil perhitungan faktor pengayaan (EF) pada logam berat Cu dan Zn di Perairan Baturusa menunjukkan adanya variasi nilai EF. Nilai faktor pengkayaan (EF) Logam Berat Cu berkisar antara 2,32-7,54 dan termasuk dalam kategori tingkat pengkayaan sedang sampai dengan tingkat pengkayaan cukup. Nilai faktor pengkayaan tertinggi Logam Berat Cu berada pada stasiun 3 dan terendah pada stasiun 7. Nilai faktor pengkayaan (EF) Logam Berat Zn berkisar antara 2,59-11,27 yaitu termasuk dalam kategori tingkat pengkayaan sedang sampai dengan tingkat pengkayaan cukup. Nilai faktor pengkayaan tertinggi berada pada stasiun 5 dan terendah pada stasiun 1. Nilai EF diatas memperlihatkan bahwa adanya masukan proses alami logam dari daratan dan pengaruh sumber antropogenik hampir diseluruh stasiun pengamatan. Nilai EF yang berkisar 0,5-1,5 mengindikasikan logam berasal dari litosfer atau alami, sedangkan nilai $EF > 1,5$ mengindikasikan masukan sumber antropogenik (Ni et al. 2022). Hasil tersebut juga menunjukkan nilai EF pada untuk Logam Berat Zn lebih besar daripada Logam Berat Cu ($Zn > Cu$). Nilai perhitungan EF Logam Berat Cu dan Zn disajikan pada Tabel 5.

Parameter Lingkungan

Parameter lingkungan yang diukur secara *in situ* pada lokasi penelitian yaitu salinitas, pH air laut, dan suhu air (Tabel 6). Untuk tekstur sedimen dianalisis di Laboratorium.

Tabel 4. Nilai Indeks Beban Pencemaran (PLI) di Perairan Baturusa

Stasiun	Indek Beban pencemaran (PLI)
1	0,01
2	0,06
3	0,05
4	0,04
5	0,08
6	0,01
7	0,04
8	0,03
9	0,03

Tabel 5. Hasil Perhitungan Faktor Pengkayaan di Perairan Baturusa

Stasiun	Faktor Pengayaan	
	Tembaga (Cu)	Zink (Zn)
1	3,86	2,59
2	3,90	7,50
3	7,54	9,25
4	2,97	9,82
5	3,39	11,27
6	2,75	10,20
7	2,32	4,78
8	5,41	6,13
9	2,68	6,54

Tabel 6. Parameter Lingkungan Perairan Baturusa

Stasiun	Parameter		
	Salinitas (‰)	Suhu (°C)	pH Air
1	16	29	7
2	16	30	7
3	17	30	7
4	20	29	7
5	20	30	7
6	25	29	7
7	30	29	7
8	30	30	8
9	30	30	7

Kondisi suhu Perairan Baturusa berkisar antara 29-30°C, keadaan suhu di perairan ini masih tergolong wajar dan normal. Variasi suhu di perairan tropis terbilang normal dan wajar jika berkisar antara 26,5-35,3°C (Patty 2013). Suhu akan meningkatkan sistem metabolisme pada biota perairan, berarti kebutuhan oksigen terlarut akan terus meningkat. Suhu dapat membatasi sebaran hewan secara geografik dan suhu yang baik untuk pertumbuhan berkisar antara 25-31°C. Suhu perairan apabila melampaui ambang batas akan mengakibatkan berkurang aktivitas kehidupannya. Hasil penelitian ini sama dengan yang dilakukan di Perairan Selat Bangka yaitu berkisar antara 28,5-30,5°C (Gaol et al. 2017). Secara umum berdasarkan Peraturan Pemerintah RI No 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup berdasarkan baku mutu air laut untuk biota, temperatur di lokasi penelitian masih berada pada ambang batas atau suhu alami yang ditetapkan baik untuk biota laut yaitu

berkisar antara (28-32°C). Kenaikan suhu perairan dapat meningkatkan kadar logam di perairan (Hutagalung et al. 1997 ; Arif et al. 2012).

Nilai pH yang di Perairan Baturusa berkisar 7-8. Nilai pH menyatakan nilai konsentrasi ion hidrogen dalam suatu larutan organisme air hidup dalam suatu perairan yang mempunyai nilai pH netral dengan kisaran toleransi antara asam lemah sampai dengan basah lemah (Manurung 2019). Nilai pH yang ideal bagi kehidupan organisme air pada umumnya 7-8,5. Kondisi perairan dengan pH tertentu mempengaruhi metabolisme dan respirasi bagi kelangsungan hidup organisme (Manurung 2019). Secara umum kondisi pH di perairan tersebut masih tergolong normal sesuai dengan pernyataan (Bindoff 2007). Selain itu, berdasarkan Peraturan Pemerintah RI No 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup berdasarkan baku mutu air laut untuk biota untuk biota masih berada pada ambang batas normal yaitu berkisar antara 7-8,5. Nilai pH di perairan memiliki peran penting terhadap logam berat karena kelarutan logam berat di perairan akan lebih tinggi pada pH yang rendah sehingga menyebabkan toksinitas logam berat semakin besar (Arif et al. 2012).

Hasil pengukuran salinitas menunjukkan nilai dari 16-30‰. Kadar salinitas tersebut masih berada dalam batas-batas salinitas yang normal bagi perairan di kawasan pesisir (Pemerintah RI No 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup berdasarkan baku mutu air laut untuk biota laut). Salinitas untuk air laut terbuka umumnya berkisar antara 30-34‰ (Patty 2013). Sebaran salinitas di laut dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti pola sirkulasi air, penguapan, curah hujan, dan aliran sungai. Perairan estuaria dapat mempunyai struktur salinitas yang kompleks, karena selain merupakan pertemuan antara air tawar yang relatif ringan dan air laut yang lebih berat juga pengadukan air sangat menentukan (Nontji 2002). Peningkatan salinitas di perairan akan mempengaruhi kenaikan logam berat, salinitas yang tinggi akan meeningkatkan kadar logam berat (Usman et al. 2015).

Tekstur sedimen pada Perairan Baturusa memiliki persentase pasir berkisar 83,09-94,89%, persentase lumpur berkisar 1,02-13,24%, dan persentase liat berkisar 5,11-16,91% serta persentase *fine sediment* yaitu 5,11-16,91% (Tabel 7).

Tabel 7. Tekstur Sedimen di Perairan Baturusa

Stasiun	Persentase (%)				Klasifikasi
	Pasir	Lumpur	Liat	Fine Sediment (Lumpur + Liat)	
1	94,89	1,02	4,09	5,11	Pasir
2	83,09	13,24	3,67	16,91	Pasir Berlempung
3	88,84	6,23	4,92	11,15	Pasir
4	89,98	3,47	6,55	10,02	Pasir
5	83,09	13,24	3,67	16,91	Pasir Berlempung
6	88,84	6,23	4,92	11,15	Pasir
7	94,89	1,02	4,09	5,11	Pasir
8	93,67	2,82	3,51	6,33	Pasir
9	94,89	1,02	4,09	5,11	Pasir

Komposisi tekstur pasir lebih dominan dibandingkan dengan yang lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa pergerakan massa air dilokasi penelitian diduga cukup tinggi. Perairan dengan pergerakan massa air yang kuat mempunyai tekstur yang lebih besar berupa pasir. Tingginya pola sebaran fraksi pasir di Perairan Baturusa juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Najamuddin *et al.* (2020) bahwa pola sebaran fraksi pasir menunjukkan persentase tertinggi pada zona perairan estuaria. Tingginya fraksi pasir pada zona ini karena pergerakan massa air yang cukup kuat terutama pengadukan massa air (turbulensi) sehingga partikel yang berukuran halus sangat minim terdeposisi dan yang mengendap hanya partikel yang berukuran besar. Bila perairan dengan kondisi arus relatif tenang, deposisi partikel halus akan menjadi dominan (Nugraha & Hudatwi 2020).

Ukuran fraksi sedimen disekitar lokasi penelitian tidak terlepas dari kondisi lingkungan sekitarnya yang membantu pembentukan sedimen salah satunya adalah sumber komponen sedimen yang berasal dari daratan seperti proses abrasi dan erosi yang kemudian terbawa oleh aliran air (Munandar 2017). Faktor lain yang mempengaruhi fraksi sedimen yaitu terjadinya mekanisme transportasi material sedimen yang akan menentukan variasi pengendapan yang terjadi, dimana ukuran partikel sedimen yang kasar akan mudah diendapkan tetapi untuk ukuran yang halus termasuk lanau dan lempung lebih lama terendapkan karena terbawa arus menjauh dari pantai (Rachman 2008).

Tekstur sedimen memiliki hubungan erat dengan logam berat. Semakin halus

tekstur sedimen maka logam berat akan mudah terikat atau terakumulasi dalam sedimen di perairan (Nurhidayah *et al.* 2020). Sedimen yang memiliki ukuran lebih besar cenderung memiliki luas permukaan yang kecil sehingga logam berat yang dihasilkan juga lebih rendah (Supriyanti & Soenardjo 2015).

KESIMPULAN

Nilai konsentrasi logam berat di Perairan Estuari Sungai Baturusa berkisar antara 0,73-2,29 mg/kg untuk Logam Berat Cu, sedangkan Logam Berat Zn memiliki kisaran antara 1,45-14,74 mg/kg. Nilai Logam Berat Cu dan Zn dalam kategori rendah karena masih dibawah nilai ambang batas. Nilai faktor kontaminasi (CF) pada Logam Berat Cu dan Zn diperoleh nilai CF dengan kisaran 0,016-0,050 dan 0,015-0,102 (tingkat kontaminasi rendah). Untuk Nilai indeks geokumulasi (I-geo) untuk Logam Berat Cu dan Zn berkisar antara -4,881 sampai -6,530 dan -3,273 sampai -6,618 (Perairan Baturusa tergolong tidak tercemar). Nilai PLI yang diperoleh berkisar antara 0,01-0,06 (perairan tidak tercemar). Nilai faktor pengayaan (EF) logam Berat Cu dan Zn berkisar 2,32-5,41 dan 2,59-11,27. Nilai EF Logam Berat Cu dan Zn tersebut termasuk dalam kategori tingkat pengayaan sedang sampai dengan tingkat pengayaan cukup. Variasi nilai EF tersebut di perairan Estuari Baturusa, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung memperlihatkan adanya masukan sumber antropogenik di semua stasiun serta masukan proses alami pelapukan dari daratan (baik secara fisik dan kimia).

REFERENSI

- Ahmad, F. 2013. Distribusi dan prediksi tingkat pencemaran logam berat (Pb, Cd, Cu, Zn Dan Ni) dalam sedimen di perairan Pulau Bangka menggunakan indeks beban pencemaran dan indeks geoakumulasi. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 5(1): 170–181.
- Arif, H.R., Masyamir, & Dhahiyat, Y. 2012. Distribusi Kandungan Logam Berat Pb dan Cd Pada Kolom Air dan Sedimen Daerah Aliran Sungai Citarum Hulu. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 3(3): 175 – 182.
- Arifin, Z.A., & Fadhlina, D. 2009. Fraksinasi Logam Berat Pb, Cd, Cu dan Zn dalam Sedimen dan Bioavailabilitas bagi Biota di Perairan Teluk Jakarta. *ILMU Kelaut. Indones. J. Mar. Sci*, 14(1): 27–32. DOI: 10.14710/ik.ijms.14.1.27-32.
- Buchanan, J.B. 1997. Sediments, in: Methods for the Study of Marine Benthos, edited by N.A. Holme and A. McIntyre, IBP handbook no 16. Oxford: Oxford University Press.
- Canadian Council of Ministers for the Environment (CCME). 2002. Canadian Sediment Quality Guidelines For The Protection Of Aquatic Life Summary Table. CCME. Winnipeg, MB.
- Effendy, C.R.P. 2017. Analisis Tingkat Pencemaran Logam Berat Fe, Zn, dan Cu Pada Sedimen di Pesisir Barat Perairan Selat Bali. [THESIS]: Universitas Brawijaya
- Febrita, Joana, & Roosmini D. 2013. Uji Toksisitas Akut Effluent IPAL Industri Pelapisan Logam Menggunakan *Daphnia magna* sebagai Evaluasi Kinerja IPAL. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 20(2): 109-119.
- Gaol, L.S.A., Diansyah, G., & Purwiyanto, S.I.A. 2017. Analisis Kualitas Air Laut di Perairan Selat Bangka di Bagian Selatan. *Maspari Journal*, 9(1): 9-16.
- Handayanto, E., Nuraini, Y., Muddarisna, N., Syam, N., & Fiqri, A. 2017. Fitomerasi dan Phytomining Logam Berat Pencemar Tanah. Malang : UB Press.
- Harikumar, P.S., Prajitha, K., & Silpa, S. 2010. Assessment of heavy metal contamination in the sediments of a river draining into a Ramsar site in the Indian Subcontinent. *Journal of Advanced Laboratory Research in Biology*, 1(2): 120-129.
- Herman, & Zulkifli D. 2006. Tinjauan terhadap tailing mengandung unsur pencemar Arsen (As), Merkuri (Hg), Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) dari sisa pengolahan bijih logam. *Jurnal Geologi Indonesia*, 4(1):31-36.
- Hutagalung, H.P., Setiapermana, D., & Riyono, S.H. 1997. Metode Analisis Air Laut, Sedimen dan Biota. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanografi LIPI.
- Ika, Tahril, & Said, I. 2013. Analisis logam timbal (Pb) dan besi (Fe) dalam air laut di wilayah pesisir pelabuhan Ferry Taipa Kecamatan Palu Utara. *Jurnal Akad. Kim*, 1(4):181-186.
- Istiqomah, N., Purwanti, F., & Haeruddin. 2014. Status sedimen Sungai Brengi Kabupaten Pekalongan ditinjau dari aspek kimia dan biologi. *Journal of Maquares*, 3(1): 134-142. DOI: 10.14710/marj.v3i1.4430.
- Masluhah, L. 2007. Konsentrasi logam berat (Pb, Cd, Cu, Zn) terlarut, dalam Seston, dan dalam Sedimen di Estuari Banjir Kanal Barat, Semarang. *Jurnal Akuatik* 2(1):1-4.
- Kinasih, A.R., Purnomo, W.P., & Ruswahyuni. 2015. Analisis hubungan tekstur sedimen dengan bahan organik, logam berat (Pb dan Cd) dan makrozoobentos di Sungai Betahwalang, Demak. *Diponegoro Journal Of Maquares Management Of Aquatic Resources* 4(3):99-107.
- Mentari, Kurniawan, & Umroh. 2017. Pengaruh aktivitas penambangan timah terhadap kualitas air di Sungai Baturusa Kabupaten Bangka. *Jurnal Sumberdaya Perairan*, 11(2): 1978-1972.
- Murtini, J., & Peranginangin, R. 2006. Kandungan logam berat pada Kerang Kepah (*Meritrix meritrix*) dan air laut di Perairan Banjarmasin. *Jurnal perikanan*, 8(2): 177–184.
- Munandar, A.M. 2017. Distribusi dan prediksi tingkat pencemaran logam berat (Pb, Cd, Cu, Zn, dan Ni) dalam sedimen perairan Lamongan Dengan Menggunakan indeks beban pencemar dan indeks geokumulasi. Thesis. Universitas Brawijaya
- Najamuddin, Tahir, I., Paembonan, R.E., & Inayah. 2020. Pengaruh karakteristik sedimen terhadap distribusi dan akumulasi logam berat Pb dan Zn di Perairan Sungai, Estuaria, dan Pantai. *Jurnal Kelautan Tropis*, 23(1): 1-14. DOI: 10.14710/jkt.v23i1.5315.
- Ni, Z., Li, S., Chen, X., Zhuang, Z., Zhang, L., Zhou, P., Deng, W., Zou, J. 2022.

- Characteristics of sedimentary and dissolved heavy metals in the Chukchi plateau and adjacent waters. *Marine Pollution Bulletin*, 184: 1-8. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2022.114232.
- 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 Science*, 24(3): 139-145. DOI: 10.14710/ik.ijms.24.3.139-145.
- Nugraha, M.A., & Hudatwi, M. 2020. Distribusi bahan organik pada sedimen permukaan Teluk Kelabat, Pulau Bangka. *Jurnal Kelautan Tropis*, 23(3): 275-283. DOI: 10.14710/jkt.v23i3.6703.
- Nugraha, M.A., Pamungkas, A., Syari, I.A., Sari, S.P., 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.
- Nurhidayah, T., Maslukah, L., Wulandari, S.Y., & Kurnia. 2020. Distribusi vertikal logam berat Pb, Zn, Cr, dan keterkaitannya terhadap karbon organik sedimen di Pantai Marunda, Jakarta. *Buletin Oseanografi*, 9(2): 125-132. DOI: 10.14710/buloma.v9i2.27283.
- Ojahan, R.T., Sumardi, S., & Yoga, D. 2017. Pengaruh variasi temperatur pencelupan terhadap sifat mekanik pada baja karbon rendah (0.02% C) dengan metode pelapisan hot dip galvanizing. *Jurnal Malahayati*, 1(1): 59-66.
- Patty, S.I. 2013. Distribution temperature, salinity and dissolved oxygen in waters kema, North Sulawesi. *Platax*, 1(3): 148-157.
- Permanawati, Y., Prartono, T., Atmadipoera, A.S., Zuraidda, R., & Chang, Y. 2016. Rekam sedimen inti untuk memperkirakan perubahan lingkungan di Perairan Lereng Kangean. *Jurnal Geologi Kelautan*, 14(2): 65-77. DOI: 10.32693/jgk.14.2.2016.347.
- Putri, A.E.P., Bengen, D.G., Prartono, T., & Riani, E. 2016. Accumulation of Heavy Metals (Cu and Pb) In Two Consumed Fishes from Musi River Estuary, South Sumatera. *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal Marine Sciences*, 21(1): 45-52. DOI: 10.14710/ik.ijms.21.1.45-52.
- Rachman, A.A. 2008. Sebaran menegak konsentrasi Pb, Cd Cu, Zn dan Ni di sedimen Pulau Pari di Bagian Utara Pulau Seribu. Thesis. Insitut Pertanian Bogor.
- Saputro, B., Santosa, L.W., & Murti, S.H. 2014. Pengaruh aktivitas penambangan timah putih (Sn) terhadap kerusakan lingkungan Perairan Sungai Jelitik Kabupaten Bangka Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. *Majalah Geografi Indonesia*, 28(1): 1-11. DOI: 10.22146/mgi.13059.
- Setiawan, H. 2014. Pencemaran logam berat di Perairan Pesisir Kota Makasar dan upaya penanggulangannya. *Info Teknis Eboni*, 11(1): 1-13.
- Siaka, I.M. 2008. Korelasi antara kedalaman sedimen di Pelabuhan Benoa dan konsentrasi logam berat Pb dan Cu. *Jurnal Kimia*, 2(2): 61-70.
- Sundararajan, S., Khadanga, M.K., Kumar, J.P.P.J., Raghuparan, S., Vijaya, R., & Jena, B.K. 2017. Ecological risk assessment of trace metal accumulation in sediments of Veraval Harbor, Gujarat, Arabian Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 114(1): 592-601. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.09.016.
- Supriyanti, E., & Soenardjo, N. 2015. Kandungan logam berat timbal (Pb) dan tembaga (Cu) pada akar dan buah mangrove *Avicennia marina* di Perairan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 18(2): 98-106. DOI: 10.14710/jkt.v18i2.520.
- Susanti, M.I. 2021. Analisis tingkat pencemaran logam berat (Pb, Cu, dan Zn) dalam sedimen sekitar Muara Sungai Musi Menggunakan Indeks Beban Pencemaran dan Indeks Geokumulasi. Thesis : Universitas Sriwijaya.
- Turekian, K.K., & Wedepohl, K.H. 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological Society of America Bulletin*, 72: 175-192. DOI: 10.1130/0016-7606(1961)72[175:DOTEIS]2.0.CO;2.
- Usman, A.F., Budimawan, & Budi, P. 2015. Kandungan logam berat Pb-Cd dan kualitas air di Perairan Biringkassi, Bungoro, Pangkep. *Agrokompleks*, 4(9): 103-107.
- Rochyatun, E., Kaisupy, M.T., & Rozak, A. 2006. Distribusi logam berat dalam air dan sedimen di Perairan Muara Sungai Cisadane. *Makara Sains*, 10(1): 35-40. DOI: 10.7454/mss.v10i1.151.

- 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(1-2): 364-373. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2014.07.048.
- Wirdianti, T. 2018. Analisis tingkat pencemaran logam berat (Cu, Zn, Dan Fe) pada sedimen permukaan di Perairan Kawasan Industri Gresik (Kig) Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Thesis. Malang : Universitas Brawijaya.