



Penilaian pencemaran logam berat dalam sedimen di Teluk Jakarta

The assessment of heavy metals pollution in the sediments of Jakarta Bay

Edward Edward

Pusat Penelitian Oseanografi-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (P2O-LIPI, Jln. Pasir Putih 1, Ancol Timur, Jakarta 14330. Tel/fax:021.64715038, 021.64711848.

ARTICLE INFO

Keywords:
Jakarta Bay
Sediment
Pollution
Heavy metals
Assessment

Kata kunci:
Teluk Jakarta
Sedimen
Pencemaran
Logam berat
Penilaian

10.13170/depik.9.3.16800

ABSTRACT

Contamination and pollution of heavy metals in the bottom sediment can pose serious issues to marine organisms and human health. Jakarta Bay which is located adjacent to the capital city of Indonesia is notorious for its pollution problems. The purpose of this research was to assess the contamination levels of heavy metals Hg, Pb, and Cd in sea-bottom sediments based on an index analysis approach (contamination factors, geo accumulation index, pollution load index). Sediment samples were collected from 31 stations in Jakarta Bay. Heavy metal concentration was measured using Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The results showed that an average mercury (Hg) concentration ranged from 0.150 to 0.530 $\mu\text{g.g}^{-1}$ with an total average of 0.362 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Lead (Pb) from 14.870 to 35.650 $\mu\text{g.g}^{-1}$ with an total average of 21.774 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Cadmium (Cd) 0.110-0.280 $\mu\text{g.g}^{-1}$ with an total average of 0.190 $\mu\text{g.g}^{-1}$. The average concentration of Hg, Pb, and Cd is still lower than the sediment quality threshold values set by the Office of the State Minister of Environment of Indonesia 2010. The results of the index analysis showed that the average value of contamination factor (CF) are Hg 0.685, Pb 0.558, and Cd 0.380 respectively (low contamination) and geo accumulation index values are Hg 0.237, Pb -1.655, and Cd 0.069 respectively (unpolluted to moderate polluted). Overall, based on the pollution load index value is -0.511 (PLI <1), sediments in these waters are categorized as not yet polluted by Hg, Pb and Cd. This situation is so necessary to be maintained, that in order for the preservation of marine resources will remain.

ABSTRAK

Kontaminasi dan pencemaran logam berat pada sedimen dasar dapat menimbulkan masalah yang serius bagi biota laut dan kesehatan manusia. Teluk Jakarta yang terletak berdekatan dengan ibu kota Indonesia terkenal karena masalah pencemarannya yang parah. Tujuan penelitian ini adalah untuk menilai tingkat kontaminasi logam berat Hg, Pb dan Cd dalam sedimen dasar laut berdasarkan pendekatan analisis indeks. Contoh sedimen diambil dari 31 stasiun penelitian di Teluk Jakarta. Kadar logam berat diukur dengan alat Spektrofotometer Penyerapan Atom. Hasil penelitian menunjukkan kadar Hg rerata berkisar 0,150-0,530 $\mu\text{g.g}^{-1}$ dengan rerata total 0,362 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Timbal (Pb) 14,870-35,650 $\mu\text{g.g}^{-1}$ dengan rerata total 21,774 $\mu\text{g.g}^{-1}$, Kadmium (Cd) 0,110-0,280 $\mu\text{g.g}^{-1}$ dengan rerata total 0,190 $\mu\text{g.g}^{-1}$. Kadar rerata Hg, Pb dan Cd masih lebih rendah dari nilai ambang batas kualitas sedimen yang ditetapkan oleh Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup Indonesia 2010. Hasil analisis indeks menunjukkan nilai rerata faktor kontaminasi (CF) berturut-turut adalah Hg 0,685, Pb 0,352 dan Cd 0,380 (kontaminasi rendah) dan nilai indeks geo akumulasi berturut-turut adalah Hg 0,227, Pb 1,098 dan Cd 0,633 (tidak tercemar sampai tercemar sedang). Secara keseluruhan, berdasarkan nilai indeks beban pencemaran yakni -3.772 (PLI <1), sedimen di perairan ini termasuk kategori belum tercemar oleh Hg, Pb dan Cd. Keadaan ini perlu dipertahankan, agar kelestarian sumberdaya laut tetap terjaga.

Pendahuluan

Logam berat adalah unsur alami yang berasal dari pelapukan batuan yang ada dalam tanah dan sedimen dasar, dan dari aktivitas antropogenik seperti industri, transportasi, permukiman, pertanian, pertambangan,

peleburan logam dan produksi energi (Omwene *et al.*, 2018; Xia *et al.*, 2018; Dixit *et al.*, 2015; Tchounwou *et al.*, 2012). Logam berat karena toksisitas, persistensi dan potensi bioakumulasinya telah menimbulkan masalah serius bagi pencemaran

* Corresponding author.
Email address: ekewe07@gmail.com

lingkungan (Islam *et al.*, 2015; Vodyanitsky, 2016). Logam berat, baik yang esensial maupun yang tidak esensial, memiliki arti penting di bidang ekotoksikologi karena keduanya persisten dan memiliki potensi untuk menjadi racun bagi organisme hidup. Secara alami logam berat ditemukan di perairan laut, dalam kadar rendah diperlukan oleh organisme untuk proses metabolisme, tetapi dalam kadar yang tinggi bersifat racun (MHuseen *et al.*, 2019; Authman *et al.*, 2015). Logam berat dalam sedimen laut distribusinya sangat dipengaruhi oleh faktor fisik-kimia (proses sedimentasi, dekomposisi mineral, transportasi hidrodinamik, kondisi redoks, dan ekstraksi biologis) dan dianggap sebagai kontaminan jika kadarnya melebihi nilai ambang batas aman untuk perlindungan lingkungan (Shaari *et al.*, 2015). Logam berat yang terakumulasi dalam sedimen dapat membahayakan organisme bentik, seperti cacing, krustasea, dan serangga lainnya dan dapat terakumulasi dalam tubuh organisme bentik (Bagul *et al.*, 2015). Logam berat yang terakumulasi di perairan dapat menginfeksi manusia melalui konsumsi air atau ikan dan biota laut lainnya. Peningkatan kadar logam berat (antara lain Hg, Pb dan Cd) dalam sedimen di dasar laut dapat menimbulkan bahaya bagi organisme laut (Birch, 2013; Rumisha *et al.*, 2016). Logam berat merupakan kontaminan penting di lingkungan jika kadarnya melebihi kadar normalnya di alam (Bing *et al.*, 2016; Sekabira *et al.*, 2010). Karena itu, penting untuk memahami informasi mengenai logam berat yang terakumulasi dalam sedimen di dasar perairan terhadap biota

Secara geografis Teluk Jakarta dibatasi oleh Tanjung Karawang di sebelah timur dan Tanjung Jawa di sebelah barat. Teluk ini sangat dipengaruhi oleh aktivitas manusia di mana teluk ini berfungsi sebagai tempat pembuangan limbah yang berasal dari berbagai aktivitas manusia di wilayah metropolitan Jakarta dan sekitarnya. Limbah ini sebagian besar tidak diproses dan langsung dibuang (Cordova *et al.*, 2017). Limbah tersebut masuk ke Teluk Jakarta melalui 13 aliran sungai yang bermuara ke Teluk Jakarta dan tingginya kadar logam berat di perairan Teluk Jakarta disebabkan oleh tingginya tingkat pencemaran pada sungai-sungai tersebut (Wahyuningsih *et al.*, 2015).

Kadar logam berat di Teluk Jakarta relatif tinggi, sumbernya antara lain adalah limbah industri, perkotaan/rumah tangga dan pelabuhan (Rochyatun *et al.*, 2007). Hasil penelitian terdahulu menunjukkan logam berat utama yang mencemari Teluk Jakarta adalah Hg, Pb dan Cd (Wahyuningsih *et al.*, 2015). Rumanta (2014) menyatakan kadar Pb di muara

sungai Citarum, Cilincing, Ciliwung, Marunda, Kali Bekasi, Cisadane, Angke, Cideng dan Sunter yang bermuara ke Teluk Jakarta relatif tinggi, yakni 20-336,43 $\mu\text{g. gr}^{-1}$ pada musim hujan dan 21-139,9 $\mu\text{g. gr}^{-1}$ pada musim kemarau.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menilai tingkat pencemaran logam berat Hg, Pb dan Cd dalam sedimen dasar laut di Teluk Jakarta dengan menggunakan pendekatan analisis indeks (faktor kontaminasi, CF, indeks beban pencemaran, PLI, dan indeks geoakumulasi (Igeo). Hasilnya diharapkan dapat digunakan oleh pemda dan instansi terkait dalam rangka pengelolaan pencemaran di Teluk Jakarta.

Bahan dan Metode

Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian ini dilakukan di Teluk Jakarta pada bulan Juli 2015 (Gambar 1). Contoh sedimen diambil pada 31 stasiun penelitian. Lokasi pengambilan sampel mewakili daerah-daerah dengan jarak yang semakin jauh dari garis pantai, yaitu muara sungai (M) 0,5 km dari garis pantai, D (5 km dari muara), C (10 km dari muara), B (15 km dari muara), dan A (20 km dari muara). Lokasi M terdiri dari Sembilan (9) stasiun, berada di Muara Kamal, Muara Tangerang, Muara Angke, Muara Karang, Muara Marina Ancol, Muara Sunter, Muara Cakung Cilincing, Muara Marunda dan Muara Gembong. Lokasi D terdiri dari empat (4) stasiun, berada di Muara Marina Ancol, Tanjung Priok, Muara Sunter, Muara Marunda dan Muara Gembong. Lokasi C terdiri dari lima (5) stasiun, berada di Muara Angke, Muara Karang, Muara Marina Ancol, Muara Sunter, Muara Cakung Cilincing, Muara Marunda dan Muara Gembong. Lokasi B dan A masing-masing terdiri dari tujuh (7) stasiun, berada di Muara Kamal, Muara Cengkareng, Muara Angke, Muara Karang, Muara Marina Ancol, Muara Sunter, Muara Cakung Cilincing, Muara Marunda dan Muara Gembong.

Bahan dan Metode

Bahan dan alat laboratorium

Bahan yang digunakan dalam penelitian di laboratorium adalah: sampel sedimen, dan bahan kimia yaitu: MIBK (Metil Isobutil Keton), APDC (Ammonium Pirolidin Dithiocarbamat), HNO_3 pekat, HCl pekat, kertas saring dan air suling. Semua bahan kimia yang digunakan adalah pro analisis (pa).

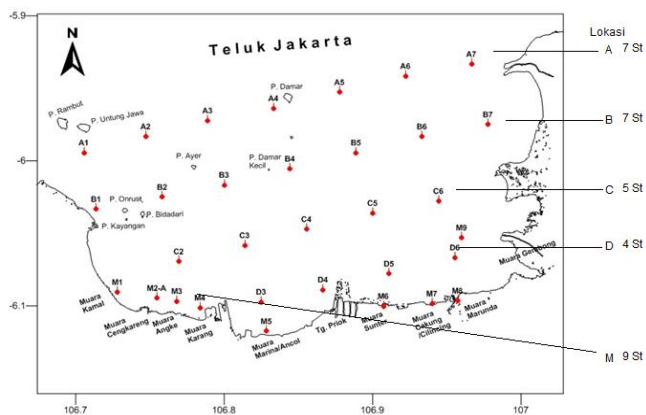
Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah AAS Varian SpectrAA 20 Plus, oven, furnace, desikator, timbangan analitis, pompa vakum, cawan teflon dan alat-alat gelas.

Bahan dan alat lapangan

Bahan lapangan yang digunakan adalah: botol sampel kaca berwarna gelap (untuk sedimen), kotak es, sarung tangan plastik, sendok sedimen, grab sampler (Smith-McIntyre).

Pengambilan contoh

Pengambilan sampel dilakukan dengan tiga kali ulangan di setiap lokasi. Di lapangan, sampel sedimen dari masing-masing lokasi dihomogenisasi untuk mendapatkan sampel sedimen secara komposit, selanjutnya disimpan dalam botol sampel untuk sedimen, disimpan dalam kotak es, dan dibawa ke laboratorium (Cordova *et al.*, 2017).



Gambar 1. Peta Stasiun Penelitian di Teluk Jakarta

Analisis sampel

Analisis kadar logam berat Hg, Pb dan Cd mengacu pada metode USEPA 3050b (Cordova *et al.*, 2017). Kalibrasi alat dilakukan dengan menggunakan CRM (*Certified Reference Material*) PACS-2 untuk menentukan tingkat keakuratan dan ketelitian data. *Recovery* alat berkisar 95-100% dan *RSD (Recovery Standard Deviation)* <5%. Di laboratorium, contoh sedimen dimasukkan ke dalam botol polietilen yang sebelumnya telah dicuci/direndam dalam larutan HNO₃ (6 N) untuk mengikat logam yang terdapat pada kotoran dan dibilas dengan air suling. Selanjutnya contoh sedimen dimasukkan ke dalam cawan teflon dan dikeringkan dalam oven pada suhu 105 ° C selama 24 jam. Setelah kering dikocok beberapa kali dengan air suling. Air suling beserta kotoran dibuang, selanjutnya contoh sedimen dikeringkan kembali pada suhu 100 °C selama 24 jam, kemudian digerus hingga halus. Sebanyak 5 gram contoh sedimen kering yang ditimbang secara analitis dimasukkan ke dalam cawan teflon, didestruksi dengan menggunakan HNO₃/ HCl pekat dan dibiarkan pada suhu ruang ± 4 jam. Destruksi dengan HNO₃ dilanjutkan pada suhu 90 °C selama 8 jam).

Kadar Pb dan Cd ditentukan dengan AAS Varian (Varian SpectrAA 20 Plus), menggunakan nyala api dari campuran udara-asetilen, sedang Hg ditentukan

tanpa menggunakan nyala (*flameless*). Kadar dinyatakan dalam µg. g⁻¹.

Analisis kualitas sedimen

Kualitas sedimen ditentukan dengan menggunakan faktor kontaminasi (CF), indeks geoakumulasi (I_{geo}), dan indeks beban pencemaran (PLI).

1) Faktor kontaminasi (CF)

Faktor kontaminasi (CF) digunakan untuk menentukan status kontaminasi dari setiap lokasi penelitian. Indeks ini mengevaluasi tingkat kontaminasi dengan membandingkan kadar saat ini dengan kadar normal di alam). Faktor kontaminasi (CF) ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$CF = C_{heavy\ metal} / C_{background}$$

C heavy metal adalah kadar logam dalam contoh sedimen dan *Cbackground* adalah kadar normal logam di alam (kerak bumi) (Effendi *et al.*, 2017; Guo *et al.*, 2010).

Nilai CF menggambarkan tingkat kontaminasi. Kisarannya adalah: rendah (CF <1), sedang (1 ≤ CF <3), tinggi (3 ≤ CF <6) dan sangat tinggi (CF ≥ 6) (Sivakumar *et al.*, 2016)

2) Indeks geoakumulasi (I_{geo})

Indeks geoakumulasi digunakan untuk menentukan kontaminasi antropogenik dalam sedimen (Sojka *et al.*, 2018; Mohiuddin *et al.*, 2010). Nilai I_{geo} dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$I_{geo} = \log_2 (C_n / 1.5 \cdot B_n)$$

C_n adalah kadar logam dalam sedimen. B_n: kadar normal logam di alam, 1,5: faktor koreksi.

Indeks geoakumulasi terdiri dari tujuh kelas (0-6) yakni: I_{geo} <0, kelas 0 (tidak tercemar), 0 < I_{geo} <1, kelas 1 (tidak tercemar sampai tercemar sedang), 1 < I_{geo} <2, kelas 2 (tercemar sedang), 2 < I_{geo} <3, kelas 3 (tercemar sedang sampai berat), 3 < I_{geo} <4, kelas 4 (tercemar berat), 4 < I_{geo} <5, kelas 5 (tercemar berat sampai sangat berat) dan I_{geo} > 5, kelas 6 (tercemar sangat berat).

3) Indeks beban pencemaran (PLI)

Indeks beban pencemaran (PLI) adalah metode sederhana untuk menilai tingkat pencemaran pada sedimen. Dalam studi ini, indeks beban pencemaran untuk setiap lokasi dievaluasi dengan menggunakan cara Tomlinson *et al.* (1980 dalam Sojka *et al.*, 2018):

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

n=jumlah logam dan CF=faktor kontaminasi. PLI digunakan untuk mengevaluasi pencemaran logam berat. PLI = 0 (alami), 0 < PLI ≤ 1 (tidak tercemar), 1 < PLI ≤ 2 (tidak tercemar hingga tercemar sedang), 2 < PLI ≤ 3 (tercemar sedang), 3 < PLI ≤ 4 (cukup tercemar), 4 < PLI ≤ 5 (sangat tercemar) dan PLI > 5 (tercemar luar biasa).

Tabel 1 menunjukkan kadar Hg, Pb dan Cd alami dalam sedimen di Teluk Jakarta dan koefisien toksisitas logam (Tr). Kadar Hg, Pb dan Cd alami ini digunakan sebagai nilai referensi untuk mengevaluasi pencemaran di setiap stasiun penelitian, hal yang sama pernah dilakukan di Teluk Bohay di mana sebagai kontrol (kadar alami) digunakan kadar alamiah logam yang terdapat dalam sedimen di Teluk Bohay China (Guo *et al.*, 2010).

Table 1. Kadar alamiah Hg, Pb dan Cd serta koefisien toksisitas.

Logam berat	Hg	Pb	Cd
Kadar alami ($\mu\text{g. g}^{-1}$) *	0,528	41,733	0.500
T_{r**}	40	5	30

*Martin *et al.* (1983), ** Guo *et al.* (2010).

Analisis data

Analisis data dilakukan secara deskriptif analitis dengan membandingkan hasil penelitian yang dilakukan oleh peneliti terdahulu dan dengan baku mutu sedimen yang ditetapkan oleh Kantor Lingkungan Hidup 2010 dan baku mutu sedimen dari negara lain.

Hasil

Hasil pengukuran kadar rerata logam berat Hg, Pb dan Cd dalam sedimen di Teluk Jakarta disajikan pada Tabel 2. Dari table tersebut dapat dilihat kadar Hg rerata tertinggi dijumpai di lokasi D, lokasi D terdiri dari empat stasiun yakni Stasiun D3, D4, D5 dan D6, berada di Muara Marina Ancol, Tanjung Priok, Muara Sunter, Muara Marunda dan Muara Gembong) dengan jarak 5 km dari muara dan terendah di lokasi B. Lokasi B berada di Muara Kamal, Muara Tangerang, Muara Angke, Muara Karang, Muara Marina Ancol, Muara Sunter, Muara Cakung Cilincing, Muara Marunda dan Muara Gembong terdiri dari tujuh stasiun yakni Stasiun B1, B2, B3, B4, B5, B6 dan B7 dan berjarak 15 km dari muara (Gambar 1).

Kadar Pb tertinggi dijumpai di lokasi D (5 km dari muara) dan terendah di lokasi A (20 km dari muara). Lokasi A terdiri dari tujuh stasiun yakni Stasiun A1, A2, A3, A4, A5, A6 dan A7 dan berada di muara yang sama dengan lokasi B.

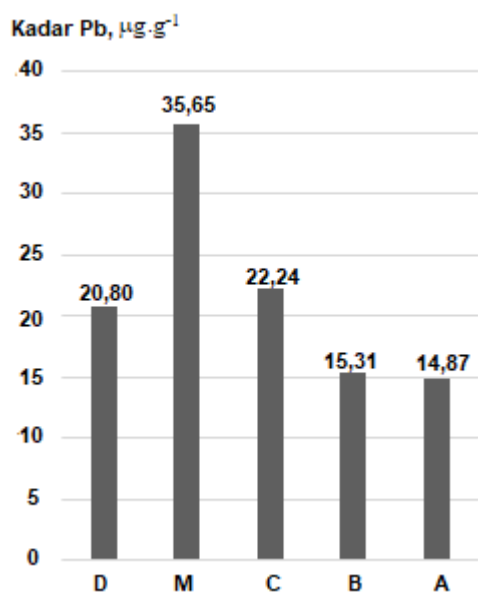
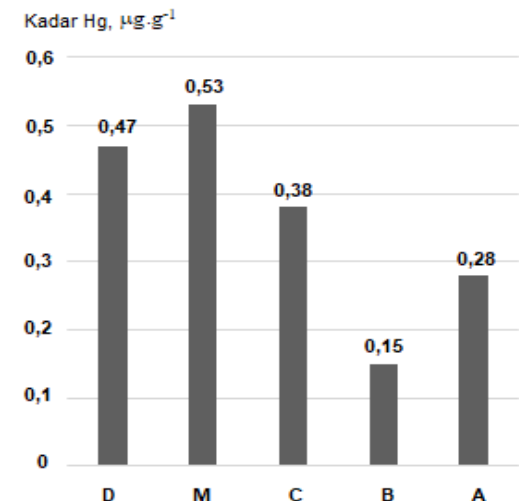
Kadar Cd rerata tertinggi dijumpai di lokasi M (0,5 km dari garis pantai), lokasi M berada di Muara Kamal, Muara Tangerang, Muara Angke, Muara Karang, Muara Marina Ancol, Muara Sunter, Muara Cakung Cilincing, Muara Marunda dan Muara Gembong, terdiri dari sembilan stasiun yakni Stasiun M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8 dan M9, dan

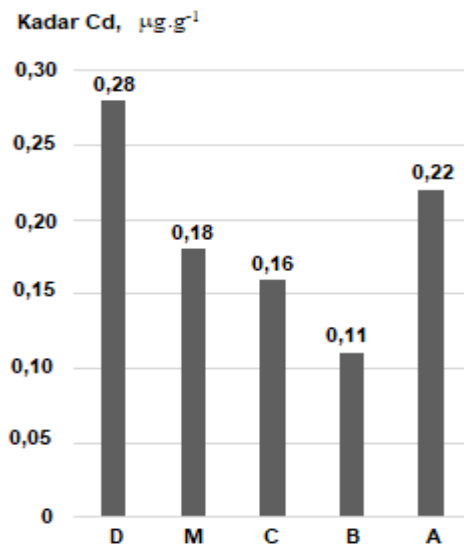
terendah di lokasi B (15 km dari muara). Kadar Pb rerata lebih tinggi dibandingkan dengan kadar rerata Hg dan Cd.

Tabel 2. Kadar rerata Hg, Pb, and Cd dalam sedimen di Teluk Jakarta

Lokasi	Kadar, $\mu\text{g.g}^{-1}$		
	Hg	Pb	Cd
M (Muara, 0,5 km dari garis pantai)	0,47	20,80	0,28
D (5 km dari muara)	0,53	35,65	0,18
C (10 km dari muara)	0,38	22,24	0,16
B (15 km dari muara)	0,15	15,31	0,11
A (20 km dari muara)	0,28	14,87	0,22
Min	0,15	14,87	0,11
Max	0,53	35,65	0,28
SD	0,151	8,413	0,064
Kadar Rerata Total	0,362	21,774	0,19

Gambar 2 menunjukkan perbandingan kadar Hg, Pb dan Cd rerata di setiap lokasi penelitian.





Gambar 2. Grafik kadar rerata Hg, Pb dan Cd dalam sedimen.

Pembahasan

Distribusi Hg, Pb, dan Cd

Dari Tabel 1 dapat dilihat kadar Hg rerata berkisar 0,15-0,53 µg. g⁻¹ dengan rerata total 0,362 µg. g⁻¹. Kadar Hg rerata tertinggi dijumpai di lokasi D (5 km dari muara) yakni 0,53 µg. g⁻¹ dan terendah di lokasi B (15 km dari muara) yakni 0,15 µg. g⁻¹. Data ini menunjukkan lokasi D lebih banyak menerima masukan limbah yang mengandung Hg dibandingkan dengan lokasi lain. Barokah *et al.* (2013) mendapatkan kadar Hg pada sedimen di Teluk Jakarta pada bulan Oktober 2016 di perairan Cilincing, Kalibaru dan Kamal Muara berturut-turut adalah 0,85 µg. g⁻¹, 0,77 µg. g⁻¹ dan 0,86 µg. g⁻¹. Kadar ini lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian ini. Kadar Hg rerata hasil penelitian ini juga masih lebih rendah bila dibandingkan dengan kadar Hg normal yang terdapat dalam kerak bumi (*average shale*) yakni 0,4 µg. g⁻¹ (Odat *et al.*, 2011; Mandeng *et al.*, 2019). Menurut *Consensus Based Sediment Quality Guideline* (CBSQG) (Winconsin Department of Natural Resources, 2003) kadar Hg dalam sedimen dengan kisaran 0,18-0,64 µg. g⁻¹ termasuk kategori tercemar sedang. *Sediment Management Standard* (Barokah *et al.*, 2013), menyatakan nilai ambang batas Hg dalam sedimen untuk kehidupan biota akuatik adalah 0,41 µg. g⁻¹. Bila mengacu kepada kriteria CBSQG di atas, berdasarkan kadar Hg rerata hasil penelitian ini termasuk kategori tercemar sedang, dan bila mengacu kepada *Sediment Management Standard*, kadar Hg hasil penelitian ini belum berbahaya bagi kehidupan biota akuatik.

Kadar Pb rerata berkisar 14,87-35,65 µg.g⁻¹ dengan rerata total 21,774 µg.g⁻¹, kadar tertinggi dijumpai di lokasi D (5 km dari muara) yakni 35,65 µg.g⁻¹ dan terendah di lokasi A (20 km dari muara)

yakni 14,87 µg.g⁻¹. Data ini menunjukkan sedimen di lokasi D lebih banyak menerima masukan limbah yang mengandung Pb dibandingkan dengan lokasi lain. Kadar Pb rerata ini relatif tinggi. Permanawati *et al.* (2013) mendapatkan kadar Pb rerata pada 15 stasiun penelitian di muara sungai Cisadane, Ciliwung, dan Citarum di Teluk Jakarta pada bulan Juli 2003 berkisar 14,150-23,760 µg. g⁻¹ dengan rerata 18,760 µg. g⁻¹, dan bulan Mei 2004 berkisar 14,700-20,480 µg. g⁻¹ dengan rerata 18,300 µg. g⁻¹. Selanjutnya Budiyanto dan Lestari (2017) pada 11 stasiun penelitian di Teluk Jakarta, mendapatkan kadar rerata Pb dalam sedimen pada bulan Maret dan Juni 2016 masing-masing sebesar 23,700 µg. g⁻¹ dan 31,400 µg.g⁻¹, dan Barokah *et al.* (2013) mendapatkan kadar Pb pada sedimen di Teluk Jakarta pada bulan Oktober 2016 di perairan Cilincing, Kalibaru dan Kamal Muara berkisar 12,489-23,603 µg.g⁻¹. Data di atas menunjukkan kadar Pb dalam sedimen di Teluk Jakarta selama periode 2003-2016 relatif tinggi (>10 µg. g⁻¹). Kadar Pb rerata hasil penelitian ini lebih tinggi bila dibandingkan dengan kadar Pb normal yang terdapat dalam kerak bumi yakni 20 µg. g⁻¹ (*average shale*) (Sekarbira *et al.*, 2010) dan 12,5 µg.g⁻¹ (*continental crust*) (Taylor, 1964 dalam Wang *et al.*, 2019). Menurut *Consensus Based Sediment Quality Guideline* (CBSQG) (Winconsin Department of Natural Resources, 2003) sedimen dengan kadar Pb <40 µg. g⁻¹ termasuk kategori tidak tercemar, demikian pula jika mengacu kepada KLH (2010) yang menyatakan nilai ambang batas Pb dalam sedimen untuk kehidupan biota akuatik adalah 36,8 µg.g⁻¹ (KLH, 2010), dan 450 µg.g⁻¹ (Barokah *et al.*, 2013). Dengan demikian kadar Pb dalam sedimen hasil penelitian ini belum berbahaya bagi kehidupan biota akuatik yang hidup dalam sedimen.

Kadar Cd rerata berkisar 0,110-0,280 µg.g⁻¹ dengan rerata total 0,190 µg.g⁻¹, kadar tertinggi dijumpai di lokasi M (0,5 km dari garis pantai) yakni 0,280 µg.g⁻¹ dan terendah di lokasi B (15 km dari muara) yakni 0,110 µg.g⁻¹, data ini menunjukkan sedimen di lokasi M lebih banyak menerima masukan limbah yang mengandung Cd. Kadar Cd rerata ini relatif tinggi. Permanawati *et al.* (2013) mendapatkan kadar rerata Cd pada 15 stasiun penelitian di daerah muara Sungai Cisadane, Ciliwung, dan Citarum di Teluk Jakarta pada bulan Juli 2003 berkisar 0,030-0,040 µg. g⁻¹ dengan rerata 0,036 µg. g⁻¹, dan bulan Mei 2004 berkisar 0,290-0,420 µg. g⁻¹ dengan rerata 0,035 µg. g⁻¹. Selanjutnya Budiyanto dan Lestari (2017) mendapatkan kadar Cd rerata dalam sedimen pada 11 stasiun penelitian di Teluk Jakarta pada bulan Maret dan Juni 2016 masing-masing adalah 0,59 µg. g⁻¹ dan 0,70 µg. g⁻¹, dan Barokah *et al.* (2013)

mendapatkan kadar Cd pada sedimen di Teluk Jakarta pada bulan Oktober 2016 yakni di perairan Cilincing, di Kalibaru dan di Kamal Muara berkisar 0.312-0.425 $\mu\text{g. g}^{-1}$. Kadar Cd hasil penelitian Budiyanto dan Lestari (2017) dan Barokah *et al.* (2013) lebih tinggi dari hasil penelitian ini. Kadar Cd rerata hasil penelitian ini masih lebih rendah bila dibandingkan dengan kadar Cd normal yang terdapat di bumi yakni 0,3 $\mu\text{g. g}^{-1}$ (*average shale*) (Sekarbira *et al.*, 2010) dan 0,098 $\mu\text{g. g}^{-1}$ (*upper continental crust*). Menurut *Consensus Based Sediment Quality Guideline* (CBSQG) (Winconsin Department of Natural Resources, 2003) sedimen dengan kadar Cd 0,99 $\mu\text{g. g}^{-1}$ termasuk kategori tidak tercemar. Keadaan yang serupa juga terlihat bila dibandingkan dengan nilai ambang batas yang aman untuk kehidupan biota akuatik yakni 6,2 $\mu\text{g. g}^{-1}$ (KLH, 2010), dan 5,1 $\mu\text{g. g}^{-1}$ (Barokah *et al.*, 2013). Berdasarkan kriteria di atas, kadar Cd rerata hasil penelitian ini masih aman untuk kehidupan biota akuatik yang hidup dalam sedimen. Pada Tabel 3 berikut dapat dilihat perbandingan kadar Hg, Pb, dan Cd hasil penelitian ini dengan baku mutu sedimen dari negara lain.

Tabel 3. Perbandingan kadar rerata Hg, Pb dan Cd dalam sedimen di Teluk Jakarta dengan baku mutu dari negara lain.

Baku Mutu Sediment, $\mu\text{g.gr}^{-1}$	Hg	Pb	Cd
SEPA (1998)	0,08	5	0,3
CCME (2002) TEL	0,13	30,2	0,7
CCME (2002) PEL	0,7	112	4,2
OSQG (1993) LEL	0,2	31	0,6
OSQG (1993) SEL	2	250	10
ANZECC/ARMCANZ (2013)*	0,15	50	1,5
Hongkong ISQG **	0,15	75	1,5
NOAA (1999)**	0,15	46,7	1,2
CBSQG (2003)	0,18	36	0,99
Penelitian ini	0,362	21,774	0,19

* Simpson *et al.* (2013), ** Burton, (2002), SEPA (*Swedish Environment Protection agency*), TEL (*Threshold Effect Level*), PEL (*Probably Effect level*), LEL (*Lowest Effect Level*), SEL (*Severe Effect Level*), CCME (*Canadian Council of Ministers of the Environment*), OSQG (*Ontario Sediment Quality Guidelines*), ISQG (*Interim Sediment Quality Guidelines*), ANZECC (*Australian and New Zealand Environment and Conservation Council*), NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), CBSQG (*Consensus Based Sediment Quality Guidelines*) (Winconsin Departement Natural Resources, 2003).

Tabel 3 dapat dilihat kadar Hg rerata hasil penelitian ini lebih tinggi dari kriteria yang ditetapkan oleh SEPA, CCME, OSQG (LEL), ANZECC, Hongkong, NOAA dan CBSQG, namun lebih rendah dari OSQG (SEL). Kadar rerata Pb lebih tinggi dari kriteria yang ditetapkan SEPA, namun lebih rendah dari yang lain, sedang Cd lebih rendah dari semua kriteria yang ditetapkan baku mutu. Pada Tabel 1 juga dapat dilihat kadar Hg, Pb dan Cd relatif berfluktuasi untuk setiap lokasi. Kadar Hg di lokasi M adalah 0,47 $\mu\text{g. g}^{-1}$, kemudian meningkat 0,53 $\mu\text{g. g}^{-1}$ selanjutnya turun menjadi 0,38 $\mu\text{g. g}^{-1}$, 0,28 $\mu\text{g. g}^{-1}$ dan 0,15 $\mu\text{g. g}^{-1}$, untuk Pb di lokasi M kadarnya 20,80

$\mu\text{g. g}^{-1}$ selanjutnya meningkat 35,65 $\mu\text{g. g}^{-1}$, kemudian turun menjadi 22,24 $\mu\text{g. g}^{-1}$, 15,31 $\mu\text{g. g}^{-1}$ dan 14,87 $\mu\text{g. g}^{-1}$, untuk Cd di lokasi M kadarnya 0,28 $\mu\text{g. g}^{-1}$, turun menjadi 0,18 $\mu\text{g. g}^{-1}$, 0,16 $\mu\text{g. g}^{-1}$, 0,11 $\mu\text{g. g}^{-1}$ dan naik menjadi 0,22 $\mu\text{g. g}^{-1}$. Data ini menunjukkan pada penelitian ini jarak lokasi dari garis pantai tidak berpengaruh terhadap fluktuasi kadar Hg, Pb, dan Cd. Keadaan seperti ini pernah dijumpai oleh Robin *et al.* (2012) pada penelitiannya di pantai barat daya India. Hal yang sebaliknya dijumpai oleh Li *et al.* (2012) pada penelitian di Teluk Jinzhou (China), hasil penelitiannya menunjukkan adanya pengaruh jarak dari garis pantai terhadap kadar Pb dan Cd, di mana semakin jauh dari pantai kadarnya semakin rendah. Adanya fluktuasi kadar ini dapat disebabkan oleh perbedaan karakteristik masing-masing lokasi atau stasiun seperti sifat fisik dan kimia perairan. Li *et al.* (2013) menyatakan tingkat keasaman (pH), suhu, oksigen terlarut, dan kecepatan arus berpengaruh terhadap fluktuasi kadar logam berat dalam sedimen. Hagan *et al.* (2011) menyatakan baik logam terlarut atau terendap dalam sedimen dipengaruhi oleh sifat fisik dan kimia perairan seperti pH, salinitas, konduktivitas dan bahan organik.

Pendekatan analisis indeks

Tabel 4 berikut disajikan nilai faktor kontaminasi, indeks geoakumulasi dan indeks beban pencemaran dari logam Hg, Pb, Cd.

Untuk Hg nilai rerata faktor kontaminasi (CF) adalah 0,685, nilai ini lebih kecil dari 1 ($CF < 1$), yang berarti tingkat kontaminasi termasuk kategori rendah. Nilai rerata I_{geo} Hg adalah 0,237, nilai ini lebih besar dari 0 dan kecil dari 1 ($0 < I_{geo} < 1$) yang berarti sedimen termasuk kategori tidak tercemar sampai tercemar sedang (kelas 1).

Nilai CF Hg tertinggi dijumpai di lokasi D yakni 1,003, nilai ini lebih besar dari 1 dan lebih kecil dari 3 ($1 < CF < 3$), yang berarti tingkat kontaminasi di lokasi D ini termasuk kategori sedang. Tingginya kadar Hg di lokasi ini dapat disebabkan oleh akumulasi limbah yang mengandung Hg lebih banyak, yang berasal dari muara Marina Ancol, Tanjung Priok, muara Sunter, muara Marunda dan muara Gembong.

Nilai faktor kontaminasi (CF) Pb rerata adalah 0,558, nilai lebih kecil dari 1 ($CF < 1$), yang berarti sedimen termasuk kategori dengan tingkat kontaminasi rendah. Nilai I_{geo} rerata Pb adalah -1,655, nilai ini lebih kecil dari 0 ($I_{geo} < 0$), yang berarti sedimen termasuk kategori tidak tercemar (kelas 0).

Tabel 4. Faktor kontaminasi (CF) and indeks geoakumulasi (I_{geo}) Hg

Lokasi	Hg	
	CF	I _{geo}
M	0,890 <1	0,351, 0<I _{geo} < 1
D	1,003 >1	0,447, 0<I _{geo} < 1
C	0,719 <1	0,229, 0<I _{geo} < 1
B	0,284 <1	0,035, 0<I _{geo} < 1
A	0,530 <1	0,124, 0<I _{geo} < 1
Min	0,284 <1	0,035, 0<I _{geo} < 1
Mak	1,003 >1	0,447, 0<I _{geo} < 1
Rerata	0,685 <1	0,237, 0<I _{geo} < 1
SD	0,256	0,148

Lokasi	Pb	
	CF	I _{geo}
M	0,690 <1	-1,590 <0
D	0,854<1	-0,813 <0
C	0,532 <1	-1,494 <0
B	0,360 <1	-2,305 <0
A	0,356 <1	-2,077 <0
Min	0,356 <1	-2,035 <0
Mak	0,854 <1	-0,813 <0
Rerata	0,558 <1	-1,655 <0
SD	0,215	0,578

Lokasi	Cd	
	CF	I _{geo}
M	0,560 <1	0,139, 0<I _{geo} < 1
D	0,360 <1	0,057, 0<I _{geo} < 1
C	0,320 <1	0,044, 0<I _{geo} < 1
B	0,220 <1	0,021, 0<I _{geo} < 1
A	0,440 <1	0,085, 0<I _{geo} < 1
Min	0,220 <1	0,021, 0<I _{geo} < 1
Mak	0,560 <1	0,139, 0<I _{geo} < 1
Rerata	0,380 <1	0,069, 0<I _{geo} < 1
SD	0,114	0,040, 0<I _{geo} < 1

Lokasi	PLI (<i>Pollution Load Index</i>)
M	0,673, <1
D	0,675, <1
C	0,495, <1
B	0,280, <1
A	0,436, <1
Min	0,280, <1
Mak	0,675, <1
Rerata	0,511 <1
SD	0,167

Untuk Cd nilai faktor kontaminasi (CF) rerata adalah 0,380, nilai ini lebih kecil dari 1 (CF<1) yang berarti tingkat kontaminasi termasuk kategori rendah, dan nilai I_{geo} rerata adalah 0,069, nilai ini lebih besar dari 0 dan lebih kecil dari 1 (0<I_{geo}<1), yang berarti sedimen termasuk kategori tidak tercemar sampai tercemar sedang (kelas 1).

Nilai PLI berkisar 0,28 sampai 0,675 dengan rerata 0,511, nilai ini <1, yang berarti secara keseluruhan sedimen di Teluk Jakarta ini termasuk kategori tidak tercemar oleh Hg, Pb dan Cd.

Nilai I_{geo} berkisar dari negatif (-) sampai dengan positif (+), semakin negatif nilai ini menunjukkan sedimen semakin tidak tercemar (semakin bersih) demikian juga sebaliknya.

Kesimpulan

Kadar rerata logam berat dalam sedimen Pb>Hg>Cd. Kadar ketiga logam tersebut masih sesuai dengan baku mutu sedimen kecuali Hg. Berdasarkan nilai PLI sedimen di perairan ini termasuk kategori tidak tercemar (PLI <1). Hasil penelitian terdahulu menunjukkan kadar Hg, Pb dan Cd relatif bervariasi ada yang sudah melewati nilai ambang batas yang ditetapkan dalam baku mutu sedimen dan ada pula yang masih sesuai atau lebih rendah.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Sdr. Muhammad Reza Cordova selaku koordinator penelitian Teluk Jakarta, yang telah memberikan izin untuk menggunakan data ini dalam penulisan artikel ini.

Referensi

- Authman, M.M.N., M.S. Zaki, E.A. Khallaf, H.H. Abbas. 2015. Use of fish as bio-indicator of the effects of heavy metals pollution. *Journal of Aquaculture Research and Development*, 6(4): 1-13. doi:10.4172/2155-9546.1000328.
- Barokah, R.G., Dwiytno, I. Nugroho. 2019. Kontaminasi logam berat (Hg, Pb, dan Cd) dan batas aman konsumsi kerrang hijau (*Perna viridis*) dri perairan Teluk Jakarta di musim penghujan. *JPB Kelautan dan Perikanan*, 14(2): 95-106.
- Bagul, V.R., D.N Shinde, R.P. Chavan, C.L. Patil, R.K. Pawar. 2015. New perspective on heavy metal pollution of water. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7(12): 700-705.
- Birch, G. 2013. Use of sedimentary-metal indicators in assessment of estuarine system Health. In *Treatise on Geomorphology* (pp.282–291). <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-37473-6.00392-4>.
- Bing, H., J. Zhou, Y. Wu, X. Wang, H. Sun, R. Li. 2016. Current state, sources, and potential risk of heavy metals in sediments of Three Gorges Reservoir, China. *Environmental Pollution*, 214: 485-496.
- Budiyanto, F., Lestari. 2017. Sebaran temporal dan spasial logam berat di sedimen perairan pesisir: studi kasus Teluk Jakarta, Indonesia. *Bulletin of the Marine Geology*, 32(1): 1-10.
- Burton, A.G.Jr. 2002. Sediment quality criteria in use around the world. *Limnology*, 3: 65-75.
- Cordova, R.M., T. Purbonegoro, R. Puspitasari, D. Hindarti. 2017. Assessing contamination level of Jakarta Bay nearshore sediments using green mussel (*Perna viridis*) larvae. *Mar. Res. Indonesia*, 41(2): 67-76.
- Dixit, R., Wasiullah, D. Malaviya, K. Pandiyan, U.B. Singh, A. Sahu, D. Paul. 2015. Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: An overview of principles and criteria of fundamental processes. *Sustainability*, 7(2): 2189-2212.
- Effendi, H., Y. Wardianto, M. Kawaroe, Mrusalin, D.F. Lestari. 2017. Spatial distribution and ecological risk assessment of heavy metal on surface sediment in west part of Java Sea. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 54, 10 p.
- Guo, W., X. Liu, Z. Liu, G. Li. 2010. Pollution and potential ecological risk evaluation of heavy metals in the sediments around

- Dongjiang Harbor. Tianjin. *Procedia Environmental sciences*, 2: 729-736.
- Hagan, G.B., F.G. Ofosu, E.K. Hayford, E.K. Osa, K. Oduro-Afriyie. 2011. Heavy metal contamination and physico-chemical assessment of the Densu River basin in Ghana. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 3(4): 385-392.
- Islam, S., K. Ahmed, S. Masunaga. 2015. Potential ecological risk of hazardous elements in different land-use urban soils of Bangladesh. *Science of the total Environment*, 512: 94-102.
- Kantor Lingkungan Hidup (KLH). 2010. Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2010. State Environment Minister's Decision Draft. <http://www.klh.go.id>. Kamis. 16 Februari 2012.
- Li, Haiyan., A. Shi, M. Li, X. Zhang. 2013. Effect of pH, temperature, dissolved oxygen, and flow rate of overlying water on heavy metals release from storm sewer sediments. *Hindawi Publishing Corporation Journal of Chemistry*, 2013, Article ID 434012, 11 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2013/434012>.
- Li, X., L. Liu, Y. Wang, G. Luo, X. Chen, X. Yang, ... & X. He. 2012. Integrated assessment of heavy metal contamination in sediments from a coastal industrial basin, NE China. *PloS one*, 7(6), e39690. doi:10.1371/journal.pone.0039690.
- Martin, J.L.M., A.M. Marchand, L. Guellec et J.C. Carpstais. 1983. Determiation de la pollution chimique des baies de Jakarta, Banten, Cilacap (Indonjisie), hydrocarbures, organochlores, metaux (CNEXO-COB-ELGMM: Brest). 57p.
- Mohiuddin, M.K., H.M. Zakir, K. Otomo, S. Sharmin, N. Shikazono. 2010. Geochemical distribution of trace metal pollutants in water and sediments of downstream of an urban river. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 7: 17-28. <http://dx.doi.org/10.1007/BF03326113>.
- Mandeng, B.P.E., L.M.B. Bidjeck, A.Z.E. Bessa, Y.D. Ntomb, J.W. Wadjou, E.P.E. Doumo, L.B. Dieudonne. 2019. Contamination and risk assessment of heavy metals, and uranium of sediments in two watersheds in Abiete-Toko gold district, Southern Cameroon. *Heliyon*, 5(e02591): 2-11.
- Mhuseen, H., A.J. Mohammed. 2019. Heavy metals causing toxicity in fishes. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1294 062028 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1294/6/062028.
- Omwene, P.I., M.S. Öncel, M. Çelen, M. Kobya. 2018. Heavy metal pollution and spatial distribution in surface sediments of Mustafa Kemal pasa stream located in the world's largest borate basin (Turkey). *Chemosphere*, 208: 782-792.
- Odat, S., A.M. Alshammara. 2011. Seasonal variations of soil heavy metal contaminants along urban roads: a case study from City of Hail. Saudi Arabia. *Jordan Journal of Civil Engineering*. 5(4): 581-591.
- Permanawati, P., R. Zuraida, A. Ibrahim. 2013. Kandungan logam berat (Cu, Pb, Zn, Cd dan Cr) dalam air dan sedimen di Perairan Teluk Jakarta. *Jurnal geologi kelautan*, 11(1): 9-16.
- Rumisha, C., R.H. Mdegela, M. Kochzius, M. Leermakers, M. Elskens. 2016. Trace metals in the giant tiger prawn *Penaeus monodon* and mangrove sediments of the Tanzania coast: Is there a risk to marine fauna and public health? *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 132: 77-86. <http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.05.028>.
- Ruminta, S. 2014. Analysis of lead (Pb) pollution in the river estuaries of Jakarta Bay. *The Sustainable City*, IX(2): 1557-1564.
- Robin, R.S., R. Pradipta, K. Muduli, V. Vardhan, D. Ganguly, K.R. Abhilash, T. Balasubramanian. 2012. Heavy metal contamination and risk assessment in the marine environment of Arabian Sea, along the Southwest Coast of India. *American Journal of Chemistry*, 2(4): 191-208. DOI: 10.5923/j.chemistry.20120204.03
- Salah, M.A.E., T.A. Zaidan, A.S. Al-Rahwi. 2012. Assessment of heavy metals pollution in the sediments of Euphrates River, Iraq. *Journal of Water Resource and Protection*, 4: 1009-11023.
- Sekabira, K., H.O. Origa, T.A. Basamba, G. Mutumba, E. Kakudidi. 2010. Assessment of heavy metal pollution in the urban stream sediments and its tributaries. *International Journal Environmental Science Technology*, 7(3): 435-446.
- Shaari, H., S.N. Hidayu, M. Azmi, K. Sultan, J. Bidai, Y.Mohamad. 2015. Spatial distribution of selected heavy metals in surface sediments of the EEZ of the East Coast of Peninsular Malaysia. Hindawi Publishing Corporation. *International Journal of Oceanography*, Article ID 618074. 10 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2015/618074>.
- Sojka, M., J. Jaskula, M. Siepak. 2018. Heavy metals in bottom sediments of reservoirs in the lowland area of western poland: concentrations, distribution, sources and ecological risk. *Water*, 11(56). doi:10.3390/w110105620p.
- Simpson, L.S., G.E. Batley, A.A. Chariton. 2013. Revision of the ANZECC/ARMCANZ Sediment Quality Guidelines CSIRO Land and Water Science Report 08/07 May. 177 p.
- SEPA (Swedish Environmental Protection Agency). 1998. Quality criteria for lakes and watercourses. Chapter 6: Metals. Suggested revision for EPA guidelines, as of 4/27/98. Swedish Environmental Protection Agency, pp. 18-23.
- Tchounwou, B.P., C.G. Yedjou, A.K. Patlolla, D.J. Sutton. 2012. Heavy Metals Toxicity and the Environment. *Molecular. Clinical and Environmental Toxicology*, 101: 133-164.
- Vodyanitskii, Y.N. 2016. Standards for the contents of heavy metals in soils of some states. *Annals of Agrarian Science*, 14(3): 257-263.
- Wahyunningsih, T., M. Rusmanta, G. Nurdin. 2015. Pencemaran Pb dan Cd pada hasil perikanan laut tangkapan nelayan di sekitar Teluk Jakarta Prosiding Seminar Nasional Konservasi dan Pemanfaatan Sumberdaya Alam. PKLH-PKIP UNS: 105-111.
- Winconsin Department of Natural Resources. 2003. Consensus based sediment quality guidelines. Recommendations for Use and Application. Department of Interior, Washington D.C. 20240: 17p.
- Wang, X., Z. Hana, W. Wang, B. Zhanga, H. Wua, L. Niea, J. Zhoua, Q. Chia, S. Xua, H. Liua, D. Liua, Q. Liua. 2019. Continental-scale geochemical survey of lead (Pb) in mainland China's pedosphere: Concentration, spatial distribution and influences. *Applied Geochemistry*, 100: 55-63
- Xia, F., L. Qu, T. Wang, L. Luo, H. Chen, R.A. Dahlgren, M. Zhang, K. Mei, H. Huang. 2018. Distribution and source analysis of heavy metal pollutants in sediments of a rapid developing urban river system. *Chemosphere*, 207: 218-228.

How to cite this paper:

Edward, E. 2020. Penilaian pencemaran logam berat dalam sedimen di Teluk Jakarta. *Depik Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*, 9(3): 403-410.