

**KAJIAN SEBARAN DAN TINGKAT PENCEMARAN LOGAM BERAT
TIMBAL (Pb) PADA SEDIMEN:
STUDI KASUS SUNGAI PELUS, BANYUMAS, JAWA TENGAH**

**Study of Distribution and Estimation of The Lead (Pb) Pollution Level in
Sediments:
Case Study of the Pelus River, Banyumas, Central Java**

Siti Hotijah¹, Dewi Nugrayani², Dewi Wisudyanti Budi Hastuti³, Nuning Vita Hidayati^{4*}

¹ Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan,
Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto

² Program Studi Akuakultur, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto, Jawa tengah

³ Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto, Jawa tengah

⁴ Program Studi Magister Sumberdaya Akuatik, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan,
Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto

*Korespondensi email: nuning.hidayati@unsoed.ac.id

(Received; 29 November 2023; Accepted 24 Desember 2023)

ABSTRAK

Logam berat Pb yang berasal dari aktivitas masyarakat di sekitar Sungai Pelus, diantaranya permukiman, pertanian, perkebunan, transportasi air, kegiatan industri, pertambangan pasir, maupun rumah tangga. Logam berat yang berada pada perairan lama-kelamaan akan mengendap di dasar perairan membentuk sedimen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan dan tingkat pencemaran logam berat Pb pada sedimen di sungai Pelus, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah. Penelitian menggunakan metode survei dengan teknik pengambilan sampel purposive random sampling pada tujuh titik stasiun. Kandungan logam berat Pb pada sedimen di tujuh titik stasiun berkisar 1,6626 – 2,672 mg/kg dengan rata-rata sebesar 1,9791 mg/kg. Berdasarkan pedoman standar baku mutu, logam berat Pb pada sedimen di Sungai Pelus masih dalam konsentrasi aman sehingga tidak menimbulkan risiko bagi kualitas lingkungan dan kehidupan biota. Sungai Pelus mempunyai nilai rata-rata *Contamination Factor* (CF) logam Pb sebesar 0,1164 (kontaminasi rendah), nilai rata-rata *Pollution Load Index* (PLI) logam Pb sebesar 0,2323 (tidak tercemar), nilai rata-rata *Enrichment Factor* (EF) logam Pb sebesar 0,6072 (pengayaan minimal), serta nilai rata-rata *Index of Geochemistry* (Igeo) logam Pb sebesar 0,0234 (tercemar ringan).

Kata Kunci: Sungai Pelus, logam berat Pb, Sedimen, Pencemaran

ABSTRACT

Heavy metals Pb originate from community activities around the Pelus River, including settlements, agriculture, plantations, water transportation, industrial activities, sand mining,

and households. Heavy metals that are in the waters over time will settle to the bottom of the water to form sediments. This study aims to determine the content and level of heavy metal pollution Pb in sediments in the Pelus river, Banyumas Regency, Central Java. The study used a survey method with purposive random sampling techniques at seven station points. The heavy metal content of Pb in sediments at seven station points ranged from 1.6626–2.672 mg/kg with an average of 1.979 mg/kg. Based on quality standard guidelines, Pb heavy metals in sediments in the Pelus River are still in safe concentrations so they do not pose a risk to the quality of the environment and biota life. Sungai Pelus has an average Contamination Factor (CF) value of Pb metal of 0.1164 (the low contamination), the average value of the Pollution Load Index (PLI) of Pb metal of 0.2323 (the unpolluted), the average Enrichment Factor (EF) value of Pb metal is 0.6072 (the minimal enrichment), and the average value of the Index of Geochemistry (Igeo) of Pb metal is 0.0234 (the light pollution).

Key words: Pelus River, Heavy Metal, Lead, Sediment, Pollution

PENDAHULUAN

Sungai merupakan salah satu komponen lingkungan yang mempunyai fungsi penting bagi kehidupan makhluk hidup untuk menunjang keseimbangan (Wijayanti, 2017). Salah satu sungai yang dimanfaatkan oleh masyarakat Kabupaten Banyumas sebagai sumber air, yaitu sungai Pelus. Sungai Pelus terletak di Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah pada ketinggian 24-810 m dari permukaan laut dan mata airnya terletak di lereng selatan gunung Slamet (Hakim *et al.*, 2015). Di sepanjang Daerah Aliran Sungai (DAS) Pelus menjadi pusat aktivitas dari masyarakat, diantaranya permukiman, pertanian, perkebunan, transportasi air, kegiatan industri pertambangan pasir, maupun rumah tangga. Dampak dari padat aktivitas masyarakat, yaitu masuknya limbah yang mengandung bahan pencemar ke badan perairan. Jenis bahan pencemar tersebut diantaranya limbah organik, anorganik, residu dan pestisida (Male *et al.*, 2017).

Logam berat merupakan bahan pencemar (polutan) yang paling berbahaya karena menimbulkan efek racun bagi manusia dan biota di perairan (Boran & Altinok, 2010). Logam berat bersifat tidak dapat terdegradasi (*non biodegradable*) secara alami (Supriyantini & Soenardjo, 2016). Logam berat dalam perairan berasal dari alamiah dan aktivitas yang dilakukan oleh manusia. Logam berat Pb secara alamiah berupa pengikisan dari batu mineral yang terdapat di lingkungan perairan. Sumber dari aktivitas yang dilakukan oleh manusia, diantaranya bahan bakar dari kapal-kapal nelayan, cat-cat kapal yang melintas di perairan dan aktivitas transportasi kapal (Lyusta *et al.*, 2017). Selain itu juga logam berat Pb pada sedimen dapat berasal dari limbah industri, permukiman, pertanian, perikanan budidaya, dan buangan bahan bakar kendaraan motor serta sampah plastik yang mengandung logam Pb (Sukaryono, 2018; Suyanto, A., S. Kusmiyati, 2010).

Logam berat yang berada pada perairan lama-kelamaan akan mengendap di dasar perairan membentuk sedimen (Ariyanto & Imron, 2008). Kemudian terakumulasi ke dalam tubuh biota, baik melalui insang, bahan makanan, maupun difusi dan akhirnya biota dikonsumsi oleh manusia (Partogi *et al.*, 2014). Jika manusia mengkonsumsi biota yang mengandung logam berat dalam jangka waktu tertentu akan sangat berpengaruh terhadap kesehatan manusia (García-Hernández *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2018). Hal tersebut dapat menyebabkan berbagai penyakit, diantaranya radang tenggorokan, nyeri kepala, dermatitis, alergi, anemia, gagal ginjal, pneumonia, dan lain sebagainya (Mitra *et al.*, 2022)

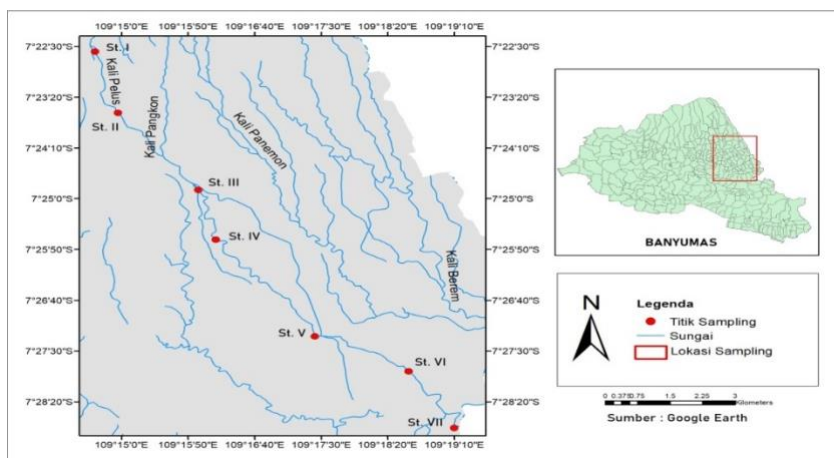
Salah satu komponen yang dapat dijadikan sebagai tolak ukur pencemaran logam berat di suatu sungai adalah sedimen. Konsentrasi logam berat dalam sedimen lebih tinggi

dibandingkan air, karena logam berat mempunyai sifat mudah mengikat bahan organik dan mengendap di dasar perairan (Eshmat, 2014). Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kandungan logam Pb serta mengetahui status tingkat pencemaran logam berat Pb pada sedimen di Sungai Pelus, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan Januari 2021. Pengambilan sampel dilakukan di Sungai Pelus, Kabupaten Banyumas, Provinsi Jawa Tengah (Gambar 1). Analisis sampel sedimen dilakukan di Wahana Laboratorium, Pawiyatan Luhur I, Bendhan Duwur, Semarang, Jawa Tengah.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Penentuan titik sampling menggunakan GPS (*Global Positioning System*) untuk menandai lokasi penelitian. Pengambilan sampel sedimen dilakukan pada tujuh titik stasiun yang terletak di sepanjang Sungai Pelus dan ditentukan berdasarkan kondisi perairan dan distribusi aktivitas antropogenik di Sungai Pelus pada masing-masing titik stasiun, sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Titik Koordinat Stasiun Lokasi Penelitian

No	Titik	Lokasi Penelitian	Koordinat	Deskripsi
1	Stasiun 1	Bewok, Karangintung, Kec. Sumbang	07°37'64,14" 109°24'44,6"	Pembuangan air atau irigasi dari kebun warga, tempat buang air besar, memancing, dan mandi
2	Stasiun 2	Sidamulya, Kedungmalang, Kec. Sumbang	07°39'31,26" 109°24'93"	Mencuci baju, mandi, tempat buang air besar
3	Stasiun 3	Dukuh Waluh, Kec. Kembaran	07°41'42,67" 109°26'60,44"	Pembuangan limbah rumah tangga, saluran pembuangan limbah, banyak sampah deterjen
4	Stasiun 4	Ledug Lor, Ledug, Kec. Kembaran	07°42'78,94" 109°26'97,12"	Memancing, mencuci baju, limbah pembuangan rumah tangga seperti deterjen
5	Stasiun 5	Dusun I, Sokaraja Kulon, Kec. Sokaraja	07°45'43,25" 109°29'03,56"	Memancing, mencuci baju, pembuangan limbah rumah tangga
6	Stasiun 6	Dusun I, Petir, Kec. Kalibagor	07°46'39,18" 109°30'99,1"	Pembuangan limbah rumah tangga, dan pertanian
7	Stasiun 7	Suro, Kec. Kalibagor	07°47'94,41" 109°31'94,59"	Pertambangan pasir, memancing, pembuangan limbah rumah tangga

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah botol sampel plastik, *ice box*, kantong plastik hitam, *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS), *stopwatch*, tali rafia, label, alat tulis, lakban, kamera, kertas *whatman* No. 42, labu *Erlenmeyer*, *hot plate*, *muffle furnace*, cawan porselin. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel sedimen, akuades, larutan HNO_3 pekat, larutan HClO_4 pekat dan larutan standar Pb.

Prosedur Penelitian

1. Pengambilan Sampel Sedimen

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survei. Penelitian ini juga menggunakan metode deskriptif, yaitu metode yang memberikan gambaran atau deskripsi tentang suatu keadaan secara objektif. Teknik pengambilan sampel menggunakan *Purposive Sampling*. Sampel sedimen diambil pada dasar permukaan sungai dengan menggunakan alat saringan secara komposit sebanyak 250 gr. Sampel sedimen dimasukkan ke dalam botol sampel dan diberi label. Kemudian, didinginkan dalam *ice box* (Hutagalung *et al.*, 1997). Selanjutnya, dilakukan preparasi untuk analisis sedimen.

2. Preparasi Sampel Sedimen untuk Analisis Logam Pb

Sampel sedimen terlebih dahulu dibersihkan dan dikeringkan. Lalu, dihaluskan dalam cawan penumbuk porselin. Sampel sedimen diambil sebanyak 5 gr dan dimasukkan ke dalam cawan porselin. Kemudian, sampel dipanaskan dalam *muffle furnace* dengan kenaikan temperature secara bertahap hingga 500°C selama 5 jam. Sampel ditimbang dan diambil sebanyak 3 gr, kemudian dimasukkan ke dalam *Erlenmeyer* 250 mL ditambahkan dengan 25 mL akuades lalu diaduk secara merata. Ditambahkan 5-10 mL HNO_3 pekat kemudian diaduk hingga bercampur rata. Setelah itu dipanaskan menggunakan *hot plate* dengan suhu $105-120^\circ\text{C}$ sampai sisa volumenya tinggal 10 mL, diangkat dan didinginkan. Ditambahkan 5 mL HNO_3 pekat dan 3 mL HClO_4 pekat tetes demi tetes melalui dinding kaca erlenmeyer. Lalu, erlenmeyer dipanaskan kembali menggunakan *hot plate* hingga timbul asap putih dan larutan sampel menjadi jernih. Setelah timbul asap putih, pemanasan dilanjutkan selama 30 menit. Didinginkan dan larutan dikocok hingga homogen. Kemudian, sampel disaring menggunakan kertas *Whatman* No. 42. Fitrat yang diperoleh dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL dan ditambahkan akuades sampai tepat tanda batas dan siap untuk dianalisis dengan AAS (Perkin Elmer Corporation, 1996).

Analisis Data

Data yang diperoleh dari penelitian dianalisis secara deskriptif komparatif dan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Analisis deskriptif adalah analisis yang dilakukan untuk memberikan gambaran atau deskripsi tentang kandungan logam berat Timbal (Pb) serta kondisi sungai Pelus Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah. Kemudian hasilnya dibandingkan dengan standar baku mutu kandungan logam berat pada sedimen untuk mengetahui status pencemaran perairan yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Standar Baku Mutu Kandungan Logam Berat Pb pada Sedimen

Sumber		Standar Baku Mutu (mg/kg)
ANZECC/ ARMCANZ Guidelines	Low	50
	High	220
CCME	TELS ¹	30,2
	PELS ²	112
USEPA		47,82
SEPA		25

¹Threshold Effect Levels (TELS)

²Probable Effect Levels (PELs)

1. Contamination Factor (CF)

Contamination Factor (CF) merupakan faktor yang memberi gambaran tingkat kontaminasi sedimen oleh logam. CF dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Harikumar *et al.*, 2010; Hidayati *et al.*, 2020) :

$$CF = \frac{C(\text{heavy metal})}{C(\text{background})}$$

C (*heavy metal*) adalah konsentrasi logam yang terukur pada sedimen, sedangkan C (*background*) adalah konsentrasi logam yang secara alami ada dalam kerak bumi (*earth crust*). Konsentrasi Pb *background* dan Fe *background* mengacu pada Turekian (1961) Nilai kisaran CF diantaranya rendah ($CF < 1$), sedang ($1 \leq CF < 3$), tinggi ($3 \leq CF < 6$), dan sangat tinggi ($CF \geq 6$) (Ahmad, 2013).

2. Pollution Load Index (PLI)

Pollution Load Index (PLI) adalah metode sederhana untuk menilai tingkat pencemaran pada sedimen. PLI dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Tomlinson *et al.*, 1980 dalam Sojka *et al.*, 2018) :

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

Dimana CF merupakan faktor kontaminasi logam, n merupakan jumlah logam. Nilai PLI digunakan untuk mengevaluasi pencemaran logam berat. Kategori nilai PLI antara lain: alami ($PLI = 0$), tidak tercemar ($0 < PLI \leq 1$), tidak tercemar hingga tercemar sedang ($1 < PLI \leq 2$), tercemar sedang ($2 < PLI \leq 3$), cukup tercemar ($3 < PLI \leq 4$), sangat tercemar ($4 < PLI \leq 5$) dan tercemar luar biasa ($PLI > 5$).

3. Enrichment Factor (EF)

Enrichment Factor (EF) atau faktor pengkayaan, dimana analisis EF digunakan untuk mendeteksi sumber bahan pencemar, apakah dari aktivitas antropogenik atau alamiah (Salas *et al.*, 2017). *Background value* setiap logam berat yang digunakan penelitian ini mengacu kepada Turekian (1961) dengan konsentrasi masing-masing Pb dan Fe berturut-turut adalah 20 mg/kg dan 47200 mg/kg. Faktor Pengkayaan (EF) dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$EF = \frac{C(n)/C(\text{ref})_{\text{sampel}}}{B(n)/B(\text{ref})}$$

C (n) adalah konsentrasi logam sampel terukur, C (ref) adalah konsentrasi *reference sample* terukur, B (n) adalah konsentrasi logam *background (earth crust)*, B (ref) adalah konsentrasi *reference sample background (earth crust)*. Kriteria nilai EF mengacu pada Sutherland (2000), dimana nilai EF < 2 Mengindikasikan pengayaan minimal; EF 2-5 mengindikasikan pengayaan sedang (*moderate*); EF 5-20 mengindikasikan pengayaan cukup (*significant*); EF 20-40 mengindikasikan pengayaan tinggi (*very high*); dan EF > 40 mengindikasikan pengayaan sangat tinggi (*extremely high*).

4. Geo-accumulation Index (I_{geo})

Indeks geoakumulasi (I_{geo}), adalah indeks sebagai kriteria untuk mengevaluasi intensitas pencemaran logam berat (Muller, 1969 dalam Nilin *et al.*, 2013)). I_{geo} dapat dirumuskan sebagai berikut :

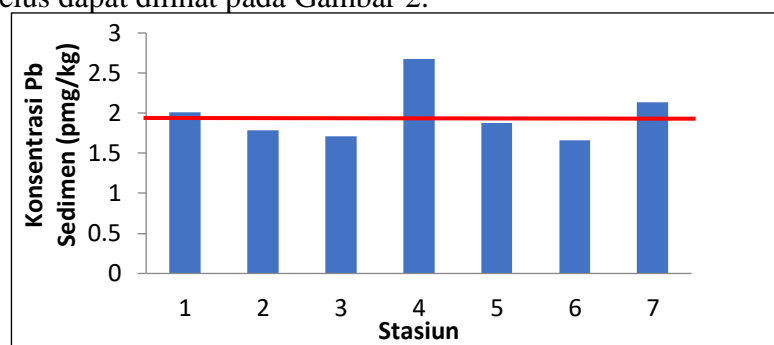
$$I_{geo} = \text{Log}_2 \frac{C_n}{1.5 B_n}$$

Dimana Cn adalah konsentrasi unsur dalam sampel diperkaya, dan Bn adalah latar belakang atau nilai murni dari unsur tersebut. Faktor 1,5 digunakan untuk meminimalkan efek variasi yang mungkin terjadi pada nilai *background* yang dapat dikaitkan dengan variasi litologis dalam sedimen (Nilin *et al.*, 2013). Indeks geoakumulasi dikategorikan tujuh kelas, yaitu kelas 0 ($I_{geo} \leq 0$) tidak tercemar, kelas 1 ($0 < I_{geo} < 1$) tercemar ringan, kelas 2 ($1 < I_{geo} < 2$) tercemar sedang, kelas 3 ($2 < I_{geo} < 3$) tercemar sedang sampai tercemar berat, kelas 4 ($3 < I_{geo} < 4$) tercemar berat, kelas 5 ($4 < I_{geo} < 5$) tercemar berat sampai tercemar ekstrim, kelas 6 ($I_{geo} \geq 5$) sangat tercemar ekstrim (Muller, 1979).

HASIL

Kandungan Logam Berat Pb pada Sedimen

Logam berat yang masuk ke perairan akan mengalami pengendapan. Kandungan Logam berat Pb pada sedimen di sungai Pelus berkisar antara 1,6626 – 2,672 mg/kg dengan rata-rata sebesar 1,9791 mg/kg. kandungan logam berat Pb pada sedimen tertinggi di stasiun 4 sebesar 2,672 mg/kg, sedangkan kandungan logam berat Pb pada sedimen terendah di stasiun 6 sebesar 1,6626 mg/kg. Hasil analisis kandungan logam berat Pb pada sedimen di Sungai Pelus dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Kandungan Logam Berat Pb pada sedimen di Sungai Pelus

Status Tingkat Pencemaran Logam Berat Pb Pada Sedimen

Tabel 3. menunjukkan perbandingan konsentrasi logam terukur dengan pedoman mutu ANZECC/ARMCANZ (2000) dari Australia dan Selandia Baru, Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME, 1999) dari Canada, United States Environmental Protection Agency (USEPA, 2004), dan Swedish Environmental Protection Agency (SEPA, 2000).

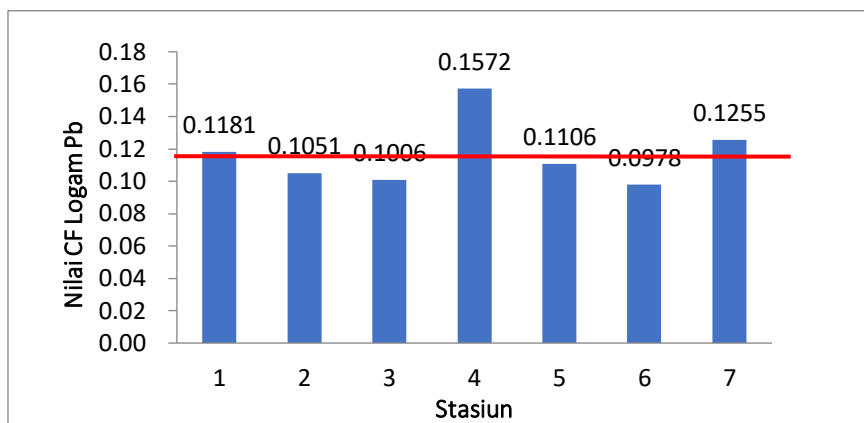
Tabel 3. Perbandingan Kualitas Sedimen di Sungai Pelus dengan Beberapa Standar Baku Mutu

Standar Baku Mutu	Titik	Pb (mg/kg)
	Stasiun 1	2,008
	Stasiun 2	1,7865
	Stasiun 3	1,711
	Stasiun 4	2,672
	Stasiun 5	1,8803
	Stasiun 6	1,6626
	Stasiun 7	2,133
	Rata-rata	1,9791
ANZECC/ARMCANZ Guidelines	Low	50
	High	220
CCME	TEL ¹	30,2

	USEPA	PEL ²	112
	SEPA		47,82
			25

Contamination factor (CF)

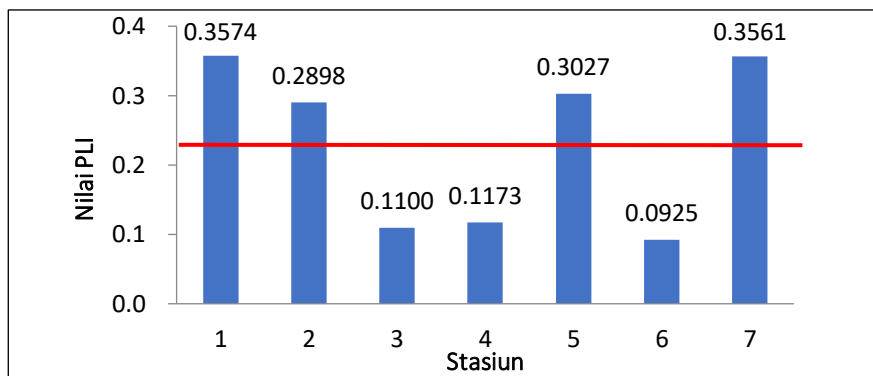
Analisis nilai CF logam berat Pb pada sedimen di Sungai Pelus dapat dilihat pada Gambar 3, yang menunjukkan nilai contamination factor logam berat Pb pada sedimen di Sungai Pelus tertinggi di stasiun 4 sebesar 0,1572. Adapun nilai contamination factor logam berat Pb terendah di stasiun 6 sebesar 0,09.



Gambar 3. Grafik Contamination Factor (CF) logam Pb pada Sedimen Sungai Pelus

Pollution Load Index (PLI)

PLI dapat digunakan sebagai cara sederhana untuk memperkirakan status kontaminan. Nilai PLI sedimen di sungai Pelus berkisar dari 0,0925-0,3574. Berdasarkan hasil analisis nilai PLI dapat dilihat pada Gambar 4 menunjukkan nilai PLI tertinggi di stasiun 1 sebesar 0,3574, sedangkan terendah di stasiun 6 sebesar 0,0925.



Gambar 4. Pollution Load Index (PLI) logam Pb pada Sedimen Sungai Pelus

Enrichment Factor (EF) dan Geo-accumulation Index (I_{geo})

Hasil perhitungan nilai faktor pengayaan (EF) dan indeks akumulasi (I_{geo}) logam Pb pada sedimen di Sungai Pelus dapat dilihat pada **Tabel 4**. Nilai EF logam Pb pada sedimen di Sungai Pelus berkisar dari 0,1092 – 1,7954. Nilai EF logam Pb tertinggi di stasiun 4 sebesar 1,7954, sedangkan nilai EF logam Pb terendah di stasiun 1 sebesar 0,1092. Nilai I_{geo} logam Pb pada sedimen berkisar dari 0,0196-0,0315. Stasiun 4 memiliki nilai I_{geo} tertinggi sebesar 0,0315, sedangkan stasiun 6 memiliki nilai I_{geo} terendah sebesar 0,0196.

Tabel 4. Nilai faktor pengayaan dan indeks geoakumulasi sedimen di Sungai Pelus

Titik	Enrichment Factor (EF)	Geo-accumulation Index (I_{geo})
Stasiun 1	0.1092	0.0237
Stasiun 2	0.1315	0.0211
Stasiun 3	0.8377	0.0202
Stasiun 4	1.7954	0.0315
Stasiun 5	0.1335	0.0222
Stasiun 6	1.1191	0.0196
Stasiun 7	0.1241	0.0252
Rata-rata	0,6072	0,0234

PEMBAHASAN

Menurut Hutagalung (1991), logam berat yang terakumulasi di sedimen karena proses absorpsi melalui 5 fase yaitu: 1) fase terikat secara absorpsi dan pertukaran ion; 2) fase terikat karbonat; 3) fase terikat oleh oksida Fe/Mn; 4) fase terikat pada zat organik dan sulfida; dan 5) fase terikat kisi-kisi logam. Logam berat mempunyai sifat yang mudah terikat dan mengendap di dasar perairan dan terakumulasi membentuk sedimen (Harahap, 1991), sehingga kadar logam berat dalam sedimen lebih tinggi daripada dalam air. Hal tersebut sejalan dengan hasil penelitian yang menyatakan bahwa sedimen menyerap bahan kimia yang persisten dan beracun lebih tinggi dibandingkan kolom air (Casper *et al.*, 2004; Linnik & Zubenko, 2000; Vermeulen & Wepener, 1999). Tingginya kandungan logam berat Pb di stasiun 4 diduga karena kawasan ini dekat dengan jalan raya sehingga banyak kendaraan motor dan mobil yang melintas, dimana sisa pembakaran gas buang kendaraan motor dan mobil dapat meningkatkan kandungan logam berat Pb. Hal ini diperkuat oleh pernyataan Walker *et al.* (1999) apabila terjadi pencemaran diduga sumber utama Pb berasal dari sisa pembakaran gas buang kendaraan bermotor dan cat. Emisi timbal bentuk gas, terutama dari buangan gas kendaraan bermotor merupakan hasil samping dari pembakaran mesin-mesin kendaraan bermotor. Hal tersebut dapat menyebabkan jumlah timbal di udara dari asap buangan kendaraan semakin meningkat. Emisi bentuk gas yang terakumulasi diudara akan turun bersama air hujan dan akhirnya bermuara ke laut serta pembakaran bahan bakar minyak oleh kapal-kapal merupakan sumbangan terbesar polusi timbal di perairan (Fiskanita *et al.*, 2015). Selain itu juga terdapat beberapa faktor lain diantaranya mencuci baju, limbah domestik, limbah rumah tangga, limbah industri, dan perubahan kecepatan arus. Menurut Ma'rifah *et al.* (2016), arus permukaan perairan berpengaruh terhadap akumulasi logam, semakin tinggi kecepatan arus maka akumulasi logam pada sedimen akan semakin kecil. Akumulasi logam berat pada sedimen dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu, tingkat garam, pH, reaksi reduksi-oksidasi, bahan organik, padatan terlarut, aktivitas biologi, dan sifat dasar logam itu sendiri (Ismarti *et al.*, 2015).

Konsentrasi logam yang cukup tinggi pada stasiun 4 dikarenakan lokasi tersebut mengakumulasi logam Pb lebih banyak dibandingkan dengan stasiun lainnya. Serta logam berat Pb yang tidak larut terbawa di dalam air dan mengalami proses pengenceran yang berada di kolom air akan turun ke dasar. Lalu, mengendap di dalam sedimen. Hal tersebut sama dengan hasil penelitian Arisandy *et al.* (2012), akumulasi logam berat Pb pada sedimen tertinggi terdapat di perairan muara sungai Kebon Agung sebesar 13,157 ppm. Hal tersebut disebabkan oleh masukan secara geologis melalui pengikisan batuan, limbah penambangan serta aktivitas pertambangan di sekitar lokasi (Ekpo *et al.*, 2013). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Saputra (2009) menyatakan bahwa logam berat Pb di Waduk Cirata banyak dihasilkan dari lalu lintas kapal perahu, limbah buangan indutri, limbah rumah tangga yang mengalir melalui aliran sungai yang masuk ke dalam waduk. Menurut William *et al.*,(2000) dalam Oktavianus & Salmi (2005), mengemukakan bahwa timbal berasal dari industri-industri seperti pabrik baterai,

amunisi, kawat, logam campuran, dan cat. Apabila kandungan logam berat Pb pada perairan tinggi maka akan menyebabkan organisme mati dan menyebabkan pada manusia seperti gangguan hemobiosintesis, percepatan penghancuran sel darah merah, mengurangi jumlah sperma, merusak ginjal, hati, pembuluh darah, sistem saraf, jaringan lainnya (Anglin-Brown *et al.*, 1995).

Berdasarkan hasil analisis sampel tekstur sedimen dari stasiun 1 sampai dengan stasiun 7 Sungai Pelus terdapat beberapa macam tekstur sedimen diantaranya pasir kasar, pasir sedang, pasir lumpuran, dan lumpur. Tekstur sedimen di stasiun 4, yaitu pasir lumpuran yang memiliki kandungan logam berat Pb tertinggi di Sungai Pelus. Sedangkan, tekstur sedimen di stasiun 7, yaitu lumpur yang memiliki kandungan logam berat Pb tertinggi kedua setelah stasiun 4 di Sungai Pelus. Hal tersebut tidak sesuai dengan pernyataan yang dikemukakan oleh Aulia (2017), menyatakan bahwa ukuran butir sedimen memiliki pengaruh dalam penyerapan logam berat. Ukuran butir sedimen yang halus seperti lumpur akan mengakumulasi logam berat lebih banyak dibandingkan ukuran butir yang kasar seperti pasir. Jadi, Semakin halus ukuran butir sedimen maka semakin tinggi kekuatannya untuk mengikat logam berat. Oleh karena itu, tanah yang bertekstur liat memiliki kemampuan untuk mengikat logam lebih tinggi dibandingkan dengan tekstur sedimen tanah berpasir. Namun, ada beberapa faktor lain yang mempengaruhi tingginya kadar logam berat pada sedimen umumnya dari aktivitas dan kondisi pada perairan tersebut (Male *et al.*, 2017).

Kandungan logam berat Pb terendah di Stasiun 6. Hal ini dapat disebabkan karena Stasiun 6 merupakan daerah muara dari Sungai Pelus, sehingga kandungan logam dalam sedimen terpengaruh oleh arus dari laut. Sesuai penelitian saat di lokasi terdapat aktivitas masyarakat Dusun I, Petir, Kecamatan Kalibagor seperti pembuangan limbah rumah tangga, limbah pertanian, dan lain sebagainya. Menurut penelitian Lestari & Budiyanto (2013), Konsentrasi rata-rata Pb lebih rendah di perairan Gresik dibandingkan perairan Teluk Jakarta. Hal tersebut disebabkan oleh masuknya jenis limbah yang dihasilkan oleh kegiatan antropogenik yang berbeda-beda pada tiap lokasi.

Secara umum, distribusi logam berat Pb di sungai Pelus merata dan tidak mengalami peningkatan yang secara signifikan. Berdasarkan standar baku mutu ANZECC/ARMCANZ Guidelines (2000), kandungan logam Pb masih dalam konsentrasi aman karena konsentrasi setiap stasiun berada di bawah baku mutu *low value* sebesar 50 mg/kg. Merujuk pada standar baku mutu CCME (1999), secara umum kandungan logam Pb masih berada dalam konsentrasi aman (TELs < 30,2 mg/kg). Demikian pula jika mengacu pada standar baku mutu USEPA (2004), konsentrasi Pb pada sedimen tidak melebihi baku mutu sebesar 47,82 mg/kg. Menurut standar baku mutu SEPA (2000), konsentrasi logam Pb masih belum melewati batas ambang sebesar 25 mg/kg. Berdasarkan perbandingan dengan pedoman standar baku mutu sedimen tersebut, logam Pb pada sedimen di Sungai Pelus masih konsentrasi aman sehingga tidak beresiko bagi kualitas lingkungan sekitar dan kehidupan biota. Namun, harus diwaspadai dikarenakan logam Pb bersifat toksis yang menyebabkan biota mati dan dapat mengakibatkan kesehatan manusia.

Nilai rata-rata *contamination factor* logam Pb yaitu 0,1164, dimana nilainya lebih kecil dari 1 (CF < 1). Hal tersebut menunjukkan sedimen termasuk kategori tingkat kontaminasi (Ahmad, 2013; Hidayati *et al.*, 2020). Hal tersebut menunjukkan aktivitas antropogenik yang menghasilkan logam berat Pb tidak terlalu banyak. Aktivitas antropogenik diantaranya knalpot, cat, industri baterai, dan pencemaran minyak dari kegiatan kapal (Saher & Siddiqui, 2016). Pada penelitian ini, diduga logam berat hanya berasal dari sumber alami seperti atmosfer

pengendapan, deposit bijih, pelapukan geologi, disintegrasi batuan induk, bioturbasi angin, dan gelombang (Darmono, 1995).

Nilai rata-rata PLI logam Pb pada sedimen di Sungai Pelus yaitu sebesar 0,2323. Hal tersebut menunjukkan Sungai Pelus tidak tercemar karena nilai $0 < \text{PLI} \leq 1$. Hasil perhitungan nilai PLI untuk logam Pb pada sedimen di masing-masing setiap stasiun Sungai Pelus masih termasuk kategori tidak tercemar sehingga masih bisa dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar sebagai air minum dan memenuhi untuk kehidupan organisme perairan. Tetapi masyarakat sekitar perlu menjaga dan melestarikan Sungai Pelus dengan tidak membuang sampah sembarangan dan tidak melakukan aktivitas yang dapat mencemari kualitas air.

Nilai rata-rata *Enrichment Factor* (EF) sebesar 0,6072, dimana mengindikasikan pengayaan minimal oleh logam Pb. Hal tersebut sesuai kategori nilai EF yang dinyatakan oleh Sutherland (2000) sebesar $\text{EF} < 2$. Menurut pernyataan Sakan *et al.* (2011), menyatakan bahwa nilai EF biasanya berkorelasi dengan aktivitas manusia disekitarnya, dimana semakin tinggi aktivitas manusia di sekitar lokasi tersebut maka nilai EF juga akan semakin tinggi pula. Hasil perhitungan nilai EF pada masing-masing stasiun Sungai Pelus menunjukkan bahwa faktor pengayaan minimal akibat adanya aktivitas manusia masih rendah untuk logam Pb. Apabila nilai faktor pengayaan tinggi disebabkan oleh sumber antropogenik logam berat yang terutama berasal dari urbanisasi, industri, pengendapan limbah, dan lain sebagainya. Mengingat komposisi litologi tanah di bagian-bagian stasiun Sungai Pelus terdapat kegiatan penambangan pasir, limbah yang dikeluarkan oleh kegiatan penambangan, dan berasal dari aktivitas antropogenik lebih dari litogenik sumber (Malsiu *et al.*, 2020). Pencemaran dari aktivitas antropogenik seperti sampah plastik, penambangan pasir, limbah industri, limbah cat, limbah pertanian, dan limbah rumah tangga.

Nilai rata-rata Igeo untuk logam Pb pada sedimen di Sungai Pelus yaitu 0,0234, dimana termasuk kelas 1 yang berarti tercemar ringan ($0 < \text{Igeo} < 1$) (Muller, 1979). Menurut Hakiki (2014) menyatakan bahwa Nilai Igeo berkorelasi dengan aktivitas manusia disekitarnya. Hasil perhitungan dari nilai Igeo menunjukkan kategori tercemar ringan sehingga tidak terlalu banyak aktivitas manusia di sekitar Sungai Pelus. Namun masih ada beberapa aktivitas manusia yang dilakukan di sekitar Sungai Pelus seperti limbah hasil rumah tangga, pertanian, dan limbah industri.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa kandungan logam berat Pb pada sedimen di tujuh titik stasiun berkisar 1,6626 – 2,672 mg/kg dengan rata-rata sebesar 1,9791 mg/kg. Berdasarkan perbandingan dengan pedoman standar baku mutu ANZECC/ARMCANZ (2000), CCME (1999), USEPA (2004), dan SEPA (2000) logam berat Pb pada sedimen di Sungai Pelus masih konsentrasi aman sehingga tidak beresiko bagi kualitas lingkungan sekitar dan kehidupan biota. Kawasan sungai Pelus terdeteksi memiliki nilai CF logam Pb dalam kategori tingkat kontaminasi rendah, nilai PLI logam Pb dalam kategori tidak tercemar, nilai EF logam Pb dalam kategori pengayaan minimal, dan nilai Igeo logam Pb dikategorikan tercemar ringan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada LPPM UNSOED untuk pendanaan penelitiannya. Karya ini didukung oleh Dana Hibah Riset Peningkatan Kompetensi, Universitas Jenderal Soedirman (UNSOED).

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, F. 2013. Distribution and Prediction on Heavy Metals Pollution Level (Pb, Cd, Cu, Zn, And Ni) in Sediment in Bangka Island Waters using Load Pollution Index and Geoaccumulation Index. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*. **5**(1) : 170–181.
- Anglin-Brown, B., Armour-Brown, A., & Lalor, G. C. 1995. Heavy Metal Pollution in Jamaica 1: Survey of Cadmium, Lead and Zinc Concentrations in the Kintyre and Hope Flat Districts. *Environmental Geochemistry and Health*. **17**(2) : 51–56.
- Arisandy, K. ., Herawati, E. ., & E, S. 2012. Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Gambaran Histologi Pada Jaringan *Avicennia marina* (forsk.) Vierh di Perairan Pantai Jawa Timur. *Penelitian Perikanan*. **1**(1) : 1–23.
- Ariyanto, D., & Imron, D. 2008. Analisis Keragaman Morfometrik dan Genetik pada Strain Ikan Mas (*Cyprinus carpio*). *Jurnal Perikanan (Journal of Fisheries Sciences) All Rights Reserved*. **1** : 53-63.
- Aulia, M. A. R. 2017. *Penilaian Tingkat Pencemaran Logam Berat Cu, Cd, dan Pb pada Sedimen di Pesisir Barat Selat Bali*. 1–14.
- Australian and New Zealand Environment and Conservation Council (ANZECC) and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand (ARMCANZ). 2000. *Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality*. Volume 1..
- Boran, M., & Altinok, I. 2010. A Review of Heavy Metals in Water, Sediment and Living Organisms in the Black Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. **10**(4) : 565–572.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). 1999. *Canadian Sediment quality guidelines for the protection of aquatic life*. In : Canadian Environmental Quality Guidelines
- Casper, S. T., Mehra, A., Farago, M. E., & Gill, R. A. 2004. Contamination of Surface Soils, River Water and Sediments by Trace Metals from Copper. *Processing Industry in the Churnet River Valley, Sta Ordshire, UK. Environ Geochem Health*. **26**(1) : 59–67.
- Ekpo, F.E.; Agu, N.A.U. 2013. *Influence of Heavy Metals Concentration in Three Common Fish , Sediment and Water Collected Within Quarry Environment , Fish , Sediment and Water Collected Within Quarry pollution of Aquatic Environment by Heavy Metals Affects Aquatic Organisms and Poses*. **3** : 1-11.
- Eshmat, M Ervany., G.M. dan B.S.R. 2014. Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) pada Kerang Hijau (*Perna viridis L.*) di Perairan Ngemboh Kabupaten Gresik Jawa Timur. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*. **6**(1), 1–23.
- Fiskanita, F., et al. 2015. Analisis Logam Timbal (Pb) an Besi (Fe) dalam Air Laut di Pelabuhan Desa Paranggi Kecamatan Ampibabo. *Jurnal Akademika Kimia*. **4**(4) : 175.
- García-Hernández, J., Ortega-Vélez, M. I., Contreras-Paniagua, A. D., Aguilera-Márquez, D., Leyva-García, G., & Torre, J. 2018. Mercury Concentrations in Seafood and the Associated Risk in Women With High Fish Consumption from Coastal Villages of Sonora, Mexico. *Food and Chemical Toxicology*. **120** : 367–377.
- Hakim, T.F.P., Widodo, P., & Sudiana, E. 2015. Variasi Morfologi Bambu Tali [*Gigantochloa apus* (Schult.F.) Kurz.] pada berbagai ketinggian tempat di Sub Daerah Aliran Sungai Pelus. *Biosfera*. **32**(1) : 42.
- Harikumar, A.P.S., Prajitha, B.K., & Silpa, C.S. 2010. Laboratory Research in Biology Assessment of Heavy Metal Contamination in the Sediments of a River Draining Into a Ramsar Site in the Indian Sub. *Analysis*. **1**(2), 157–169.
- Hidayati, N.V., Prudent, P., Asia, L., Vassalo, L., Torre, F., Widowati, I., Sabdono, A., Syakti,

- A. D., & Doumenq, P. 2020. Assessment of the Ecological and Human Health Risks from Metals in Shrimp Aquaculture Environments in Central Java, Indonesia. *Environmental Science and Pollution Research*. **27**(33), 41668–41687.
- Ismarti, Amelia, F., & Ramses, R. 2015. Kandungan Logam Berat Pb dan Cd pada Sedimen dan Kerang di Perairan Batam. *Jurnal Dimensi*. **4**(3) : 1-8.
- 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.
- Linnik, P. M., & Zubenko, I. B. 2000. Role of Bottom Sediments in the Secondary Pollution of Aquatic Environments by Heavy-Metal Compounds. *Lakes and Reservoirs: Science, Policy and Management for Sustainable Use*. **5**(1): 11–21.
- Lyusta, A., Agustriani, F., & Surbakti, H. 2017. Analisis Kandungan Logam Berat Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) pada Sedimen di Pulau Payung Kabupaten Banyuasin, Sumatera Selatan. *Maspari Journal : Marine Science Research*. **9**(1) : 17–24.
- Ma'rifah, A., Siswanto, A. D., & Romadhon, A. 2016. Karakteristik dan Pengaruh Arus Terhadap Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Sedimen di Perairan Kalianget Kabupaten Sumenep. *Prosiding Seminar Nasional Kelautan*. 82–88.
- Male, Y.T., et al. 2017. Analysis of Cadmium (Cd) and Lead (Pb) Metals Content on Sediment Inner Part of Ambon Bay. *Indo. J. Chem. Res*. **5**(1) : 434–443.
- Malsiu, A., Shehu, I., Stafilov, T., & Faiku, F. 2020. Assessment of Heavy Metal Concentrations with Fractionation Method in Sediments and Waters of the Badovci Lake (Kosovo). *Journal of Environmental and Public Health*. **2020** : 1-14.
- Mitra, S., et al. 2022. Impact of Heavy Metals on the Environment and Human Health: Novel Therapeutic Insights to Counter the Toxicity. *Journal of King Saud University - Science*. **34**(3).
- Nilin, J., et al. 2013. Sediment Quality Assessment in a Tropical Estuary: The Case of Ceará River, Northeastern Brazil. *Marine Environmental Research*. **91**: 89–96.
- Partogi, Martin A., Pudjiono W.P., Suryanti. 2014. Distribusi Logam Berat Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) di Sedimen, Air, dan Bivalvia di Lingkungan Muara Sungai Wiso Jepara. *Diponegoro Journal of Maquares*. **3**(4) : 92-101.
- Perkin Elmer Corporation. 1996. Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy. *Analytical Methods*. 216.
- Saher, N.U., & Siddiqui, A.S. 2016. Comparison of Heavy Metal Contamination during the Last Decade Along the Coastal Sediment of Pakistan: Multiple Pollution Indices Approach. *Marine Pollution Bulletin*. **105**(1) : 403–410.
- Sakan, S.M., Dordević, D.S., & Trifunović, S.S. 2011. Geochemical and Statistical Methods in the Evaluation of Trace Elements Contamination: an Application on Canal Sediments. *Polish Journal of Environmental Studies*. **20**(1) : 187–199.
- Salas, P.M., Sujatha, C.H., Ratheesh Kumar, C.S., & Cheriyan, E. 2017. Heavy Metal Distribution and Contamination Status in the Sedimentary Environment of Cochin Estuary. *Marine Pollution Bulletin*. **119**(2) : 191–203.
- Saputra, A. (2009). Pengamatan Logam Berat pada Sedimen Perairan Waduk Cirata. *Media Akuakultur*. **4**(1) : 84.
- Sojka, M., Jaskula, J., & Siepak, M. 2018. Heavy Metals in Bottom Sediments of Reservoirs in the Lowland Area Of Western Poland: Concentrations, Distribution, Sources and Ecological Risk. *Water (Switzerland)*. **11** (1).
- Sukaryono, I.D. 2018. Pemantauan Kandungan Logam Berat Pb dan Cd pada. *Majalah BIAM*. **14**(1) : 1–7.
- Supriyantini, E., & Soenardjo, N. 2016. 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.
- Sutherland, R.A.2000. Bed Sediment-Associated Trace Metals in an Urban Stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology*. **39**(6) : 611–627.
- Suyanto, A.,S. Kusmiyati, dan C.R.2010. Residu Logam Berat Ikan dari Perairan Tercemar di Pantai Utara Jawa Tengah. *Jurnal Pangan Dan Gizi*. **1**(2) : 33–38.
- Swedish Environmental Protection Agency. 2000. *Environmental Quality Criteria Coasts and Seas*. Sweden : Aralia.
- Turekian, K.K. and K.H.W.1961. *Geological Society of America Bulletin Ages of Batholithic Intrusions of Northern and Central Chile*. **72**(2) :175-192.
- United States Environmental Protection Agency. 2004. *The Incidence and Severity of Sediment Contamination in Surface Waters of The United States, National Sediment Quality Survey : Second Edition*. Washington Dc : Standards and Health Protection Division.
- Vermeulen, L.A., & Wepener, V.1999. Spatial and Temporal Variations of Metals in Richards Bay Harbour (RBH), South Africa. *Marine Pollution Bulletin*. **39** : 304–307.
- Walker, W. J., Mcnutt, R. P., & Mash, C. K. 1999. The Potential Contribution of Urban Runoff to Surface Sediment of Passaic River Sources and Chemical Characteristics. *Geomega, Chemical Land Holding Inc*. **38**(2) : 363-377.
- Wijayanti, T. 2017. Profil Pencemaran Logam Berat Pada Perairan Daerah Aliran Sungai (DAS) Grindulu Pacitan. *Jurnal Ilmiah Sains*.**17**(1) :19.
- Zhang, W., Zhang, X., Tian, Y., Zhu, Y., Tong, Y., Li, Y., & Wang,X. 2018. Risk Assessment of Total Mercury and Methylmercury in Aquatic Products from Offshore Farms in China. *Journal of Hazardous Materials*. **354** : 198–205.