

## **Kandungan Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn, Ni dan Senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) dalam Sedimen di Teluk Jakarta**

Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) Compounds Content in Sediment in Jakarta Bay

**Edward<sup>1\*</sup>, Khosanah Munawir<sup>1</sup>, Deny Yogaswara<sup>1</sup>, Dede Falahuddin<sup>1</sup>, Agus Kusnadi<sup>1</sup>, Teddy Triandiza<sup>1\*</sup>, Helfinalis<sup>1</sup>, Ita Wulandari<sup>1</sup>, Lestari S<sup>1</sup>, Rosmi N Pesilette<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Pusat Penelitian Oseanografi, LIPI, Jakarta, 14430, Indonesia

\*Korespondensi: ekewe07@gmail.com, teddy.triandiza27@gmail.com

### **ABSTRAK**

Penelitian kandungan logam berat Pb, Cd, Cu, Zn, Ni dan Senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) dalam sedimen telah dilakukan di perairan Teluk Jakarta pada bulan Mei 2016. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat pencemaran logam berat Pb, Cd, Cu, Zn, Ni dan PAH dalam kaitannya dengan perlindungan biota laut. Lokasi penelitian berada di Perairan Ancol/Marunda, Muara Gembong dan Pulau Pari. Contoh sedimen di analisis dengan menggunakan Spektrofotometer Penyerapan Atom (AAS) dan Gas Chromatografi. Hasilnya menunjukkan berdasarkan nilai faktor kontaminasi (CF), indek geoakumulasi ( $I_{geo}$ ) dan indek beban pencemaran (PLI), sedimen di Perairan Teluk Jakarta ini termasuk kategori terkontaminasi rendah dan kategori tidak tercemar oleh logam berat Pb, Cd, Cu, Zn dan Ni, sedang kandungan total PAH juga masih rendah dibandingkan dengan baku mutu sedimen.

**Kata kunci:** Teluk Jakarta; sedimen; PAH; logam berat

### **ABSTRACT**

Research on heavy metals content Pb, Cd, Cu, Zn, Ni and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) in sediment were carried out in Jakarta Bay in Mei 2016. The purpose of this research is to known the degree of heavy metals pollution Pb, Cd, Cu, Zn, Ni and PAH in sediment in its relation to marine biotas protection. Research location were Ancol/Marunda waters, Gembong Estuary and Pari Island waters. Sediment samples analyzed using Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) and Gas Chromatography. The results showed that according to contamination factor values, geo accumulation and load pollution index, sediment in Jakarta Bay including to low contamination and unpolluted category by Pb, Cd, Cu, Zn, and Ni, while PAH content also still lower compared to sediment quality guideline.

**Keywords:** Jakarta Bay; sedimen; PAH; heavy metals

## PENDAHULUAN

Teluk Jakarta merupakan tempat bermuaranya beberapa sungai di Jakarta (Dadap, Terusan Cengkareng, Grogol, Angke, Krendang, Mampang, Cideng, Kali Besar, Ciliwung, Koja, Sunter, Baru, Cakung, Terusan Cakung, Blencong, dan Tawar) dan dari daerah di sekitarnya. Sungai-sungai ini mengangkut berbagai bahan pencemar hasil aktivitas manusia di daratan (industri dan permukiman) yang ada di DKI Jakarta dan sekitarnya. Bahan pencemar yang masuk ke laut seiring berjalannya waktu akan terakumulasi pada ekosistem laut dan dapat suatu saat akan mencapai jumlah yang dapat membahayakan kelestarian ekosistem laut. Bahan pencemar tersebut antara lain adalah logam berat dan PAH.

Logam berat merupakan penyusun dari batuan alami, melalui proses pelapukan masuk ke tanah dan sedimen dasar (Omwene et al., 2018; Xia et al., 2018). Logam berat dianggap sebagai kontaminan yang penting di lingkungan bila konsentrasinya melebihi konsentrasi alami (Bing et al., 2016; Sekabira et al., 2010). Beberapa dari logam berat bersifat racun terhadap organisme hidup bahkan pada konsentrasi yang rendah sekalipun, beberapa di antaranya penting secara biologis namun menjadi racun pada konsentrasi yang relatif tinggi (Duruibe et al., 2007). Logam berat menimbulkan masalah serius bagi pencemaran lingkungan karena toksisitas, daya tahan, dan potensi bioakumulasinya (Islam et al., 2015; Vodyanitskii, 2016). Logam berat dapat terakumulasi dalam jaringan ikan, dan melalui rantai makanan dapat mempengaruhi kesehatan manusia. Oleh karena itu sangat penting untuk mengontrol kandungan logam berat dalam daging ikan dan menjaga kesehatannya agar tidak berbahaya (Tóth et al., 2011).

PAH adalah senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon, merupakan kelompok polutan organik yang ada di lingkungan dan bersifat toksik (Zhang et al., 2009b). PAH disamping berasal dari sumber alami, juga berasal dari sumber antropogenik seperti pembakaran batu bara, kayu, bahan bakar dan proses industri (Lawal, 2017). PAH dapat terbentuk secara alami, sebagian besar bersifat persisten dan toksis (Wang et al., 2015; Li et al., 2015). Sumber emisi alami PAH adalah kebakaran hutan (Wang et al., 2016; Obrist et al., 2015), pembakaran sampah (Pongpiachan, 2015), gunung berapi dan proses hidrotermal (Domingos, et al., 2015; Kong, et al., 2015). PAH mudah terakumulasi dalam sedimen dan biota, dan sulit untuk dihilangkan (Ong et al., 2015). Akumulasi pada organisme akuatik terjadi melalui makan hasil laut yang telah terkontaminasi, terutama krustsea dan moluska (Olayinka et al., 2019) Jika kita mengkonsumsi biota laut yang terkontaminasi PAH, kemungkinan besar kita akan menderita kanker akibat keracunan PAH (Muntaz et al., 1995).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat pencemaran logam berat dan PAH dalam sedimen di perairan Teluk Jakarta (Pantai Ancol/Marunda, Pulau Pari, dan Muara Gembong) dalam kaitannya dengan perlindungan biota laut.

## METODE PENELITIAN

### *Waktu dan Lokasi Penelitian*

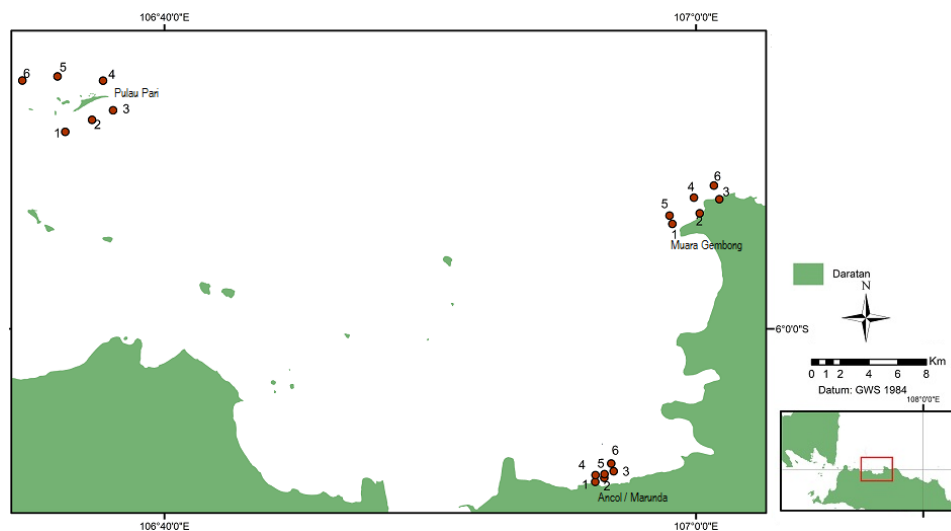
Penelitian ini dilakukan di perairan Teluk Jakarta bulan Mei 2016. Lokasi penelitian meliputi Perairan Pantai Ancol/Marunda, Muara Gembong dan Pulau Pari. Di masing-masing lokasi ditetapkan 6 stasiun penelitian (Gambar 1). Posisi stasiun ditentukan dengan GPS (*Global*

Positioning System, Garmin). Data yang dianalisis diambil dari laporan akhir penelitian kelompok peneliti pencemaran

laut dan bioremediasi (Darmayati et al., 2016).

Tabel 1. Posisi Stasiun Penelitian

St	Ancol/Marunda		Muara Gembong		Pulau Pari	
	Lintang	Bujur	Lintang	Bujur	Lintang	Bujur
1	-6.095775	106.936811	-5.934455	107.985219	-5.876859	106.604525
2	-6.093250	106.942464	-5.927847	107.002338	-5.869349	106.621332
3	-6.089107	106.948380	-5.919011	107.014691	-5.863397	106.634505
4	-6.091523	106.926987	-5.918024	106.998723	-5.844860	106.628230
5	-6.090901	106.942624	-5.929234	106.983456	-5.842206	106.599660
6	-6.084277	106.946869	-5.910434	107.011256	-5.844774	106.577618



Gambar 1. Lokasi Penelitian di Teluk Jakarta (Ancol/Marunda, P. Pari, Muara Gembong)

### Metode kerja

Contoh sedimen diambil dengan menggunakan grab sedimen (*Van Veen Grab*), dimasukkan ke dalam botol berwarna gelap dan disimpan dalam kotak pendingin (*ice box*). Pengambilan contoh dilakukan sebanyak 1 kali yakni bulan Mei 2016. Komposisi sedimen ditentukan secara granulometri. Contoh sedimen ditimbang dengan menggunakan timbangan analitik (*Sartorius*) dan dikeringkan dalam oven (*Hitachi*) pada suhu 80°C selama 12 jam, lalu dihomogenkan dengan air dan disaring dengan ayakan bertingkat berukuran mesh

8 mm; 4 mm; 2 mm; 1 mm; 0,5 mm; 0,25 mm; 0,125 mm; dan 0,063 mm.

### Analisis Logam Berat

Contoh sedimen sebanyak 2 gr, dimasukkan ke dalam cawan teflon (*Emerck*) dan dikeringkan dalam oven (*Hitachi*) pada suhu 105° C selama 24 jam. Setelah kering dikocok beberapa kali dengan air suling. Contoh sedimen dikeringkan kembali pada suhu 100°C selama 24 jam, kemudian digerus hingga halus. Sebanyak 1 g contoh sedimen kering dimasukkan ke dalam cawan teflon (*Emerck*), didestruksi dengan

menggunakan  $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2\text{-HCl}$  (pro analisis) pada suhu  $95^\circ\text{C}$  selama 6 jam (USEPA, 1966). Kandungan Pb, Cd, Cu, Zn, dan Ni ditentukan dengan Spektrofotometer Penyerapan Atom (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) Varian SpectrAA-20 Plus menggunakan nyala campuran udara–asetilen (Westerlund & Magnuson, 1981).

### Analisis PAH

Analisis kandungan PAH ditentukan berdasarkan prosedur operasi standar laboratorium kimia organik (*Standard Operation Procedure*) (SOP, 2013). Contoh sedimen kering sebanyak 10 gram dihomogenisasi dengan menambahkan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (pro analisis) secukupnya untuk mengisap air sampai contoh tidak lengket, kemudian diesktraksi dengan menggunakan dichloromethane (DCM) sebanyak 120 ml selama 8 jam pada suhu  $60^\circ\text{C}$ . Ekstrak yang diperoleh dipekatkan dengan alat evaporator Kuderna Danish sampai volume 1 ml. Selanjutnya di lakukan *clean up* dengan menggunakan kolom kromatografi yang telah diisi dengan alumina WB 5 basic (Sigma Aldrich USA) sebanyak 4 gram dan dialirkan n-heksana sebanyak 15 ml. Sampel hasil *clean Up* diuapkan sampai volume 1 ml dan di fraksinasi dengan kolom kromatografi yang telah diisi dengan bubuk silika 60 (Merck USA) sebanyak 4 gram menjadi fraksi non polar (F1) dan fraksi polar (F2). Hasil fraksinasi selanjutnya diuapkan sampai 1 ml dan disimpan dalam botol vial. Fraksi polar (F2) digunakan untuk analisa PAH. Kandungan PAH diukur dengan kromatografi gas HP 5890 series II dengan detektor FID. Kolom kapiler yang digunakan adalah kolom HP-1 (crosslinked Methyl Siloxane), ukuran

panjang 25 m dengan diameter 0,2 mm. Ketebalan kolom 0,33 mm. Fase ratio: 150. Suhu diprogram dari  $60\text{-}270^\circ\text{C}$  dengan aliran  $15^\circ\text{C}$  per menit dan didiamkan selama 12 menit. Suhu detektor  $320^\circ\text{C}$  dan suhu injektor  $250^\circ\text{C}$ . Kadar PAH ditentukan dengan cara membandingkannya dengan kadar larutan standar dan dinyatakan dalam ppm ( $\mu\text{g/g}$ ). Analisis contoh PAH mengacu kepada cara yang ditetapkan oleh Holden & Marsden (1969), Greve & Grevenstuk (1975), Duinker & Hillebrand (1978).

### Perhitungan Indeks Pencemaran

Prediksi tingkat pencemaran logam berat dalam sedimen ditentukan dengan menggunakan Indeks Geoakumulasi (*Geoaccumulation Index*, I-Geo), Faktor Kontaminasi (*Contamination Factor*, CF) dan Indeks Beban Pencemaran (*Pollution Load Index*, PLI). Indeks Geoakumulasi (*Geoaccumulation Index*, I-Geo), Faktor Kontaminasi (CF) dan Indeks Beban Pencemaran (PLI) di hitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_{\text{Geo}} = \log_2 (C_x / 1,5 B_n) \quad [1]$$

Dimana:  $I_{\text{Geo}}$  adalah Indeks Geoakumulasi,  $C_x$  adalah Konsentrasi logam X dalam contoh,  $B_n$  adalah konsentrasi normal logam X di alam, dan 1,5 = konstansta.

$$CF = C_x / B_n \quad [2]$$

Dimana: CF adalah faktor kontaminasi,  $C_x$  adalah konsentrasi logam X dalam contoh, dan  $B_n$  adalah konsentrasi normal logam X di alam.

$$PLI = [CF1 \times CF2 \times CF3 \dots CFn]^{1/n}$$

[3]

Di mana : PLI adalah indek beban pencemaran, CF adalah faktor Kontaminasi, dan n adalah Jumlah logam.

Kriteria tingkat pencemaran berdasarkan Indek Geoakumulasi, Faktor Kontaminasi dan Indek Beban Pencemaran disajikan pada Tabel 2.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil

#### Logam berat

Hasil pengukuran kandungan logam berat Pb, Cd, Cu, Zn, dan Ni dalam sedimen di perairan Teluk Jakarta disajikan pada Tabel 2. Dari tabel tersebut

dapat dilihat kandungan logam di masing-masing lokasi terlihat bervariasi. Di Perairan Ancol/Marunda kadar logam berat tertinggi adalah Cu dan terendah Cd, di Muara Gembong tertinggi Zn dan terendah Cd, di Pulau Pari tertinggi Ni dan terendah juga Cd. Grafik rerata kadar logam berat di Teluk Jakarta ditampilkan pada Gambar 2.

#### Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH)

Hasil pengukuran kadar total PAH dan komposisi sedimen disajikan pada Tabel 4. Hasil Penelitian menunjukkan bahwa kadar PAH tertinggi dijumpai di Muara Gembong dan terendah di Perairan Ancol. Grafik kadar total PAH di Teluk Jakarta ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabel 2. Kriteria tingkat pencemaran

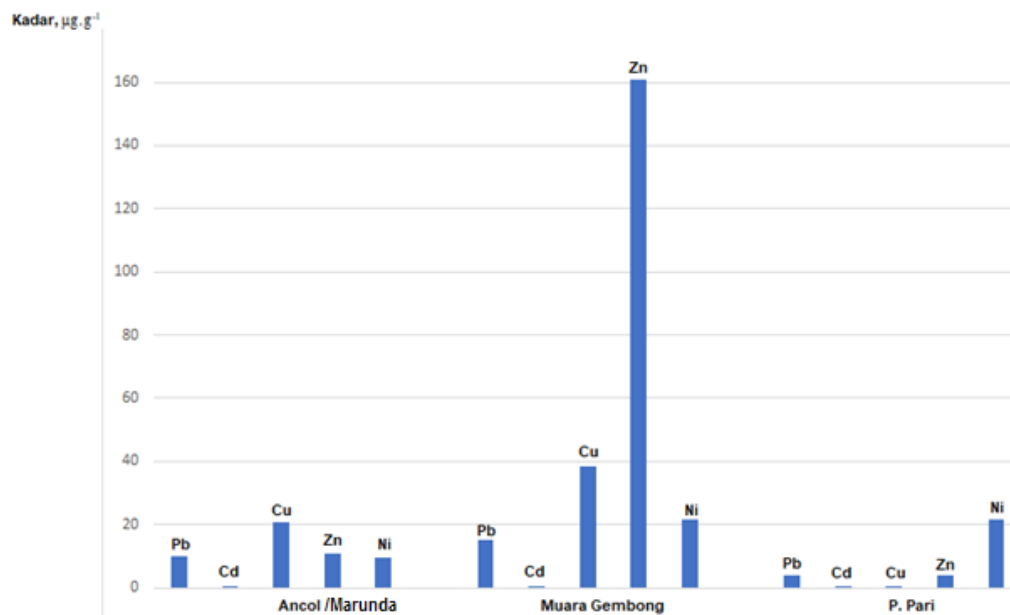
Indeks	Nilai	Kategori
Indek Geoakumulasi (Igeo)	Igeo < 0	Tidak tercemar
	0 < Igeo < 1	Tercemar ringan
	1 < Igeo < 2	Tercemar sedang
	2 < Igeo < 3	Tercemar cukup parah
	3 < Igeo < 4	Tercemar parah
	4 < Igeo < 5	Tercemar luar biasa parah
	Igeo > 5	Tercemar sangat luar biasa parah
Indek Beban Pencemaran (PLI)	< 1	Tidak tercemar
	1-2	Tidak tercemar sampai tercemar ringan
	2-4	Tercemar sedang
	4-6	Tercemar parah
	6-8	Tercemar sangat parah
	8-10	Tercemar luar biasa parah
Faktor Kontaminasi (Cf)	Cf < 1	Tingkat Kontaminasi Rendah
	1 < Cf < 3	Tingkat Kontaminasi Sedang
	3 < Cf < 6	Tingkat Kontaminasi Cukup
	Cf > 6	Tingkat Kontaminasi Sangat Tinggi

Sumber: (Adel et al., 2011; Qingjie et al., 2008; Parizanganeh et al., 2012; Veerasingam et al., 2012; Shams et al., 2012).

Tabel 3. Kadar Logam Berat dalam Sedimen di di Teluk Jakarta, Mei 2016,  $\mu\text{g.g}^{-1}$

St	Teluk Jakarta					
		Pb	Cd	Cu	Zn	Ni
Pantai Ancol/Marunda, n=6	Min	0,64	0,11	0,08	0,10	3,35
	Max	42,0	0,22	105	43,9	19,3
	Rerata	10,01	0,15	20,8	10,8	9,41
Muara Gembong, n=6	Min	13,60	0,22	24,9	110	18,9
	Max	19,80	0,40	53,0	195	23,9
	Rerata	15,10	0,28	38,4	161	21,4
Pulau Pari, n=6	Min	0,63	0,22	0,07	0,10	20,7
	Max	6,34	0,27	0,89	13,8	23,1
	Rerata	3,95	0,23	0,21	3,79	21,7
Rerata total		9,686	0,22	19,803	58,53	17,503
Rerata Alami ( <i>shale standard</i> )*		20	0,3	45	95	68

\* Mohiuddin et al., (2010)

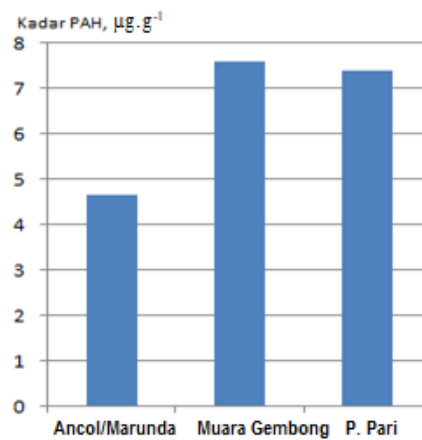


Gambar 2. Grafik Kadar logam berat rerata di Teluk Jakarta

Tabel 4. Kadar total PAH dalam Sedimen dan komposisi sedimen, Mei 2016

Lokasi	PAH $\mu\text{g.g}^{-1}$	Komposisi Sedimen %		
		Pasir	Lanau	Lempung
Pantai Ancol/Marunda				
St 1	1,23	95,8	0,4	0,2
2	0,69	66,7	0,7	0,4
3	0,45	98,9	0,1	0,3
4	0,62	98,5	0,2	0,3
5	0,46	94,1	0,2	0,3

6	1,22	79,4	1,4	1,0
Total	3,67			
Rerata	0,61			
<b>Muara Gembog</b>				
St 1	1,4	22,3	49,7	26,8
2	1,4	2,8	56,3	40,7
3	1,4	12,8	50	36,5
4	0,94	11,5	44,3	41,1
5	1,21	6,0	55	37,8
6	1,23	6,7	63,8	29,2
Total	7,58			
Rerata	1,26			
<b>Pulau Pari</b>				
St 1	0,45	85,3	2,1	5,2
2	1,23	76,3	13,3	2,8
3	1,04	84,2	2,2	1,8
4	1,22	91,2	4,7	2,5
5	2,21	69,3	6,5	0,2
6	1,23	67,2	6,1	1,4
Total	7,38			
Rerata	1,23			



Gambar 3. Grafik kadar total PAH di Teluk Jakarta

## PEMBAHASAN

### *Distribusi logam berat*

Dari Tabel 3 dapat dilihat kadar Pb tertinggi dijumpai di Perairan Muara Gembog yakni  $15,1 \mu\text{g.g}^{-1}$ , diikuti oleh Perairan Ancol  $10,1 \mu\text{g.g}^{-1}$  dan Pulau Pari  $3,95 \mu\text{g.g}^{-1}$ . Hasil penelitian ini lebih rendah bila dibandingkan dengan hasil penelitian terdahulu di Teluk Jakarta.

Permanawati et al., (2013) mendapatkan kadar Pb rerata pada 15 stasiun penelitian di Teluk Jakarta (Perairan Tanjung Kait dan Muara Gembong) pada bulan Oktober-November 2010 berkisar  $14,00-58,100 \mu\text{g.g}^{-1}$  dengan rerata  $26,020 \mu\text{g.g}^{-1}$ . Budiyanto dan Lestari (2017) pada 11 stasiun penelitian di Teluk Jakarta, mendapatkan kadar Pb rerata pada bulan



Maret dan Juni 2013 berkisar 8,10-41,7  $\mu\text{g.g}^{-1}$  dan 7,80-89,40  $\mu\text{g.g}^{-1}$  dengan rerata masing-masing 23,700  $\mu\text{g.g}^{-1}$  dan 31,400  $\mu\text{g.g}^{-1}$ . Rochyatun dan Rozak (2007) mendapatkan kadar Pb di bagian Barat Teluk Jakarta 8,49-31,22  $\mu\text{g.g}^{-1}$ , di bagian Tengah Teluk Jakarta berkisar 2,21-69,22  $\mu\text{g.g}^{-1}$ , dan di bagian Timur Teluk Jakarta berkisar 0,25-77,42  $\mu\text{g.g}^{-1}$ . Perbedaan hasil penelitian tersebut dapat disebabkan oleh perbedaan letak dan jumlah stasiun serta waktu penelitian.

Kadar Pb rerata hasil penelitian ini lebih rendah bila dibandingkan dengan kadar Pb normal yang terdapat dalam kerak bumi yakni 20  $\mu\text{g.g}^{-1}$  (*average shale*) (Mohiuddin et al., 2010). *Canadian Council of Ministers for the Environment* (CCME, 2002) menyatakan Nilai Ambang Batas (NAB) Pb dalam sedimen untuk perlindungan biota adalah 35  $\mu\text{g.g}^{-1}$ . Menurut *Consensus Based Sediment Quality Guideline* (CBSQG) (Winconsin Department of Natural Resources, 2003) sedimen dengan kadar Pb <40  $\mu\text{g.g}^{-1}$  termasuk kategori tidak tercemar. Barokah et al., (2013) menyatakan Nilai Ambang Batas (NAB) Pb dalam sedimen untuk kehidupan biota akuatik adalah 450  $\mu\text{g.g}^{-1}$ . Dengan demikian kadar Pb dalam sedimen hasil penelitian ini belum berbahaya bagi kehidupan biota akuatik yang hidup dalam sedimen.

Kadar Cd tertinggi dijumpai di Muara Gembong yakni 0,28  $\mu\text{g.g}^{-1}$  selanjutnya diikuti oleh Pulau Pari 0,23  $\mu\text{g.g}^{-1}$  dan Ancol 0,15  $\mu\text{g.g}^{-1}$ . Kadar ini lebih rendah bila dibandingkan dengan hasil penelitian lain di Teluk Jakarta. Permanawati et al., (2013) mendapatkan kadar Cd rerata pada 15 stasiun penelitian di Teluk Jakarta (Perairan Tanjung Kait sampai Muara Gembong) bulan Oktober-November adalah 0,257  $\mu\text{g.g}^{-1}$ . Kadar ini lebih tinggi dibandingkan Perairan

Ancol/Marunda dan Pulau Pari, namun lebih rendah dibandingkan dengan Muara Gembong. Budiyanto dan Lestari (2017) mendapatkan kadar Cd rerata pada 11 stasiun penelitian di Teluk Jakarta bulan Maret dan Juni 2016 adalah 0,59  $\mu\text{g.g}^{-1}$  dan 0,70  $\mu\text{g.g}^{-1}$ . Rochyatun dan Rozak (2007) mendapatkan kadar Cd di bagian Barat Teluk Jakarta berkisar <0,001-0,47  $\mu\text{g.g}^{-1}$ , di bagian Tengah Teluk Jakarta berkisar <0,001-0,09  $\mu\text{g.g}^{-1}$ , dan di bagian Timur Teluk Jakarta berkisar berkisar 0,10-0,42  $\mu\text{g.g}^{-1}$ . Perbedaan hasil tersebut dapat disebabkan oleh perbedaan lokasi, jumlah stasiun dan waktu penelitian,

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*) (Mohiuddin et al., 2010), 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. Barokah et al., (2013) menyatakan Nilai Ambang Batas (NAB) Cd yang aman dalam sedimen untuk kehidupan biota akuatik adalah 5,1  $\mu\text{g.g}^{-1}$ . *Canadian Council of Ministers for the Environment* (CCME, 2002) menetapkan Nilai Ambang Batas Cd dalam sedimen untuk perlindungan biota adalah 0,6  $\mu\text{g.g}^{-1}$ . Berdasarkan kriteria di atas, kadar Cd rerata hasil penelitian ini masih aman untuk kehidupan biota akuatik yang hidup dalam sedimen.

Kadar Cu rerata tertinggi dijumpai di Muara Gembong yakni 38,4  $\mu\text{g.g}^{-1}$  selanjutnya diikuti oleh perairan Ancol dan Pulau Pari yang kadar Cu nya masing-masing adalah 20,8  $\mu\text{g.g}^{-1}$  dan 0,21  $\mu\text{g.g}^{-1}$ . Kadar ini lebih rendah bila dibandingkan dengan penelitian Permanawati et al., (2013) di Teluk Jakarta pada bulan Oktober-November



2010 yang mendapatkan rerata kadar Cu  $59,827 \mu\text{g.g}^{-1}$  dan Budiyanto dan Lestari (2017) yang mendapatkan kadar Cu rerata di Teluk Jakarta pada Maret dan Juni 2013 adalah  $46,90 \mu\text{g.g}^{-1}$  dan  $49,80 \mu\text{g.g}^{-1}$ . Selain itu bila dibandingkan penelitian Rochyatun dan Rozak (2007), Kadar Cu rerata hasil penelitian ini secara umum lebih rendah bila dibandingkan dengan rerata kadar Cu yang dijumpai di bagian barat Teluk Jakarta  $68,93 \mu\text{g.g}^{-1}$  (Juli 2003) dan  $44,91 \mu\text{g.g}^{-1}$  (September 2003). Namun pada lokasi Muara Gembong Kadar Cu lebih tinggi bila dibandingkan penelitian Rochyatun dan Rozak (2007) di bagian Tengah Teluk Jakarta dengan rerata  $24,58 \mu\text{g.g}^{-1}$  (Juli 2003) dan  $24,67 \mu\text{g.g}^{-1}$  (September 2003), serta di bagian timur Teluk Jakarta dengan rerata  $27,96 \mu\text{g.g}^{-1}$  (Juli 2002)  $23,71 \mu\text{g.g}^{-1}$  (September 2003). Hal tersebut dapat disebabkan oleh perbedaan lokasi, jumlah stasiun dan waktu penelitian.

Kadar Cu rerata hasil penelitian ini masih lebih rendah dibandingkan dengan kadar normal Cu dalam kerak bumi yakni  $45 \mu\text{g.g}^{-1}$  (Mohiuddin et al., 2010). Febris dan Wagner (1994) menyatakan Nilai Ambang Batas (NAB) Cu yang aman dalam sedimen adalah  $30 \mu\text{g.g}^{-1}$ , sedangkan kandungan Cu yang dapat menimbulkan efek negatif terhadap mikroorganisme adalah  $200 \mu\text{g.g}^{-1}$ . *Canadian Council of Ministers for the Environment* (CCME, 2002) menyatakan Nilai Ambang Batas Cu dalam sedimen untuk perlindungan biota adalah  $35,7 \mu\text{g.g}^{-1}$ . Dengan demikian bila mengacu pada CCME di atas, dapat dikatakan bahwa sedimen di ketiga perairan ini masih baik untuk kehidupan biota laut, kecuali Muara Gembong.

Kadar Zn rerata tertinggi dijumpai di Muara Gembong yakni  $161 \mu\text{g.g}^{-1}$ , selanjutnya Ancol  $10,8 \mu\text{g.g}^{-1}$  dan Pulau Pari  $3,79 \mu\text{g.g}^{-1}$ . Kandungan Zn

rerata hasil penelitian ini lebih rendah bila dibandingkan dengan kadar Zn hasil beberapa penelitian lain di Teluk Jakarta. Namun Kadar Zn rerata di Muara Gembong lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian Rochyatun et al., (2007) di Teluk Jakarta bagian tengah dan timur. Permanawati et al. (2013) mendapatkan kadar rerata Zn pada 15 stasiun penelitian di Teluk Jakarta (Perairan Tanjung Kait sampai Muara Gembong) pada bulan Oktober-November 2010 berkisar  $95,800-333,00 \mu\text{g.g}^{-1}$  dengan rerata  $167,240 \mu\text{g.g}^{-1}$ . Budiyanto et al., (2017) mendapatkan kadar Zn rerata pada 11 stasiun penelitian di Teluk Jakarta pada bulan Maret dan Juni berkisar  $72,10-503,00 \mu\text{g.g}^{-1}$  dan  $853,00-1270,00 \mu\text{g.g}^{-1}$  dengan rerata masing-masing adalah  $206,00 \mu\text{g.g}^{-1}$  dan  $408,00 \mu\text{g.g}^{-1}$ . Rochyatun dan Rozak (2007) mendapatkan kadar Zn dalam sedimen di bagian barat Teluk Jakarta berkisar  $82,18-533,59 \mu\text{g.g}^{-1}$ , di bagian tengah Teluk Jakarta berkisar  $71,13-230,54 \mu\text{g.g}^{-1}$ , dan di bagian timur Teluk Jakarta berkisar  $93,21-289,00 \mu\text{g.g}^{-1}$ .

Kadar Zn ini relatif masih rendah bila dibandingkan dengan kadar alamiah Zn dalam kerak bumi yakni  $95 \mu\text{g.g}^{-1}$  (Mohiuddin et al., 2010), kecuali Muara Gembong lebih tinggi. *Canadian Council of Ministers for the Environment* (CCME, 2002) menyatakan Nilai Ambang Batas Zn dalam sedimen untuk perlindungan biota adalah  $123 \mu\text{g.g}^{-1}$ . Dengan demikian bila mengacu kepada CCME di atas kadar Zn di ketiga lokasi belum berbahaya bagi biota laut, kecuali Muara Gembong lebih tinggi.

Kadar Ni tertinggi dijumpai di Pulau Pari yakni  $21,7 \mu\text{g.g}^{-1}$  selanjutnya Muara Gembong  $21,4 \mu\text{g.g}^{-1}$  dan Ancol  $9,41 \mu\text{g.g}^{-1}$ . Budiyanto dan Lestari., (2017) mendapatkan kadar Ni rerata pada 11 stasiun penelitian di Teluk Jakarta pada

bulan Maret dan Juni 2013 masing-masing berkisar 13,70-38,40  $\mu\text{g. g}^{-1}$  dan 15,90-75,80  $\mu\text{g. g}^{-1}$  dengan rerata masing-masing adalah 24,70  $\mu\text{g. g}^{-1}$  dan 29,40  $\mu\text{g. g}^{-1}$ . Kadar Ni rerata ini relatif masih rendah bila dibandingkan dengan kadar alamiah Ni dalam kerak bumi yakni 68  $\mu\text{g. g}^{-1}$  (Mohiuddin et al., 2010). Kusuma et al., (2014) mendapatkan kadar Ni pada 15 stasiun penelitian yang mewakili bagian barat, tengah dan timur Teluk Jakarta pada bulan September 2014 berkisar 19,80-39,85  $\mu\text{g. g}^{-1}$  dengan rerata 26,72  $\mu\text{g. g}^{-1}$ . Rochyatun et al., (2007) mendapatkan kadar Ni di bagian barat Teluk Jakarta berkisar 0,99-35,38  $\mu\text{g.g}^{-1}$ , di bagian tengah Teluk Jakarta berkisar 0,42-15,58  $\mu\text{g.g}^{-1}$ , dan di bagian timur Teluk Jakarta berkisar 0,42-128,47  $\mu\text{g.g}^{-1}$ .

Kadar Ni hasil penelitian ini di Pulau Pari dan muara Gembong lebih tinggi bila dibandingkan dengan kadar Ni rerata di Teluk Jakarta bagian barat, Tengah dan Timur, sedang di Perairan Ancol kadar Ni rerata lebih tinggi bila dibandingkan dengan Teluk Jakarta bagian barat pada bulan September dan

Teluk Jakarta bagian tengah, namun lebih rendah dari Teluk Jakarta bagian timur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar Ni di Pulau Pari dan Muara Gembong berbahaya bagi biota laut karena telah melebihi nilai terendah kadar Ni dalam sedimen yang dapat menimbulkan efek negatif berdasarkan *British Columbia Ministry of Water, Land and Air Protection* yaitu 16  $\mu\text{g.g}^{-1}$  (BCMWLAP, 2006).

Pada Tabel 5 berikut dapat dilihat perbandingan kandungan logam berat dalam sedimen di perairan Teluk Jakarta dengan kandungan alami (*geochemical background*) dan nilai referensi toksikologi ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ). Dari tabel tersebut dapat dilihat kandungan Pb, Cd, Cu, Zn, dan Ni rerata hasil penelitian lebih rendah dari kandungan alamiah geokimia (*shale standard*). Kadar Cu dan Ni lebih tinggi dari nilai TRV dan LEL. Secara keseluruhan di Perairan Pantai Ancol/Marunda kandungan Cu>Zn>Pb>Ni>Cd, Muara Gembong Zn>Cu>Ni>Pb>Cd dan di Pulau Pari Zn>Cu>Ni>Pb>Cd.

Tabel 5. Perbandingan kandungan logam berat dalam sedimen di Perairan Ancol/Marunda, Muara Gembong dan Pulau Pari dengan kandungan alami (*geochemical background*) dan nilai referensi toksikologi ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ).

Logam	Geochemical Background *	US Dept of Energy*			Canadian EQG *		US EPA *	Ontario MOE *		Penelitian ini
		TEC	PEC	HNEC	ISQ	PEL	TRV	LEL	SEL	
Pb	20	34,2	396	68,7	35	91,3	31	31	250	9,686
Cd	0,3	0,59	11,7	41,1	0,6	3,5	0,60	0,60	10	0,22
Cu	45	28	77,7	54,8	35,7	197	16	16	110	19,803
Zn	95	159	1532	541	123	315	110	120	820	58,53
Ni	68	39,6	38,5	37,9	-	-	16	16	75	17,503

Ket: TEC (Threshold Effect Concentration), PEC (Probable Effect Concentration), HNEC (High No Effect Concentration), ISQG (Interim Sediment Quality Guideline), PEL (Probably Effect Level), TRV (Toxicity Reference Value), LEL (Lowest Effect Level), SEL (Severe Effect Level), \* Mohiuddin et al., (2010)

### Kualitas Sedimen

Hasil perhitungan nilai faktor kontaminasi, indek geoakumulasi dan indek pencemaran Pb, Cd, Cu, Zn, dan Ni di Teluk Jakarta disajikan pada Tabel 6. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa nilai CF untuk Pb, Cd, Cu, Zn dan Ni di Perairan Ancol/Marunda menunjukkan nilai <1, yang berarti tingkat kontaminasi termasuk kategori rendah. Nilai I<sub>geo</sub> nya juga menunjukkan nilai <1, yang berarti tingkat akumulasi termasuk kategori rendah. Sedangkan Nilai PLI adalah 0,282, nilai ini <1, yang berarti sedimen termasuk kategori tidak tercemar.

Hasil penelitian di muara Gembong menunjukkan nilai CF untuk Pb, Cd, Cu, dan Ni adalah lebih kecil dari 1. Sedangkan nilai CF untuk Zn, nilainya besar dari 1 dan kecil dari 3 (1<CF<3). Hasil tersebut menunjukkan bahwa sedimen di Muara Gembong terkontaminasi sedang logam Zn dan tidak terkontaminasi logam Pb, Cd, Cu dan Ni (CF<1). Nilai I<sub>geo</sub>

berturut-turut adalah -0,991, -0,628, -0,816, 0,175 dan -2,258. Nilai I<sub>geo</sub> Zn ini lebih besar dari 0 dan kecil dari 1 (0<I<sub>geo</sub><1), menunjukkan sedimen tercemar ringan Zn, sedang I<sub>geo</sub> Pb, Cd, Cu dan Ni lebih kecil dari 0 (<0), yang menunjukkan sedimen tidak tercemar oleh Pb, Cd, Cu dan Ni. Nilai PLI adalah 0,796, nilai ini <1, yang menunjukkan bahwa secara keseluruhan sedimen tidak tercemar oleh logam Pb, Cd, Cu, Zn dan Ni.

Di Pulau Pari nilai CF Pb, Cd, Cu, Zn dan Ni berturut-turut adalah 0,197, 0,766, 0,004, 0,039 dan 0,319. Nilai ini <1, menunjukkan bahwa tingkat kontaminasi rendah. Nilai I<sub>geo</sub> berturut-turut adalah -2,932, -0,968, -8,380, -5,625 dan -2,337. Nilai-nilai ini <1, yang menunjukkan sedimen tidak tercemar oleh Pb, Cd, Cu, Zn dan Ni. Nilai PLI adalah 0,094, nilai ini <1, yang menunjukkan bahwa secara keseluruhan sedimen tidak tercemar oleh logam Pb, Cd, Cu, Zn dan Ni.

Tabel 6. Nilai CF, I<sub>geo</sub> dan PLI di Teluk Jakarta

Stasiun penelitian	Indeks pencemaran	Teluk Jakarta				
		Pb μg.g <sup>-1</sup>	Cd μg.g <sup>-1</sup>	Cu μg.g <sup>-1</sup>	Zn μg.g <sup>-1</sup>	Ni μg.g <sup>-1</sup>
Pantai Ancol/ Marunda, n=6	Rerata	10,01	0,15	20,8	10,8	9,41
	Cf	0,500	0,500	0,462	0,113	0,138
	I <sub>geo</sub>	-1,573	-1,586	-1,698	-3,736	-3,442
	PLI	(0,5x0,5x0,462x0,113x0,138) <sup>1/5</sup> = 0,282				
Muara Gembong, n=6	Rerata	15,1	0,28	38,4	161	21,4
	Cf	0,755	0,933	0,853	1,694	0,314
	I <sub>geo</sub>	-0,991	-0,628	-0,816	0,175	-2,258
	PLI	(0,755x0,933x0,853x1,694x0,314) <sup>1/5</sup> = 0,796				
Pulau Pari, n=6	Rerata	3,95	0,23	0,21	3,79	21,7
	Cf	0,197	0,766	0,004	0,039	0,319
	I <sub>geo</sub>	-2,932	-0,968	-8,380	-5,625	-2,337
	PLI	(0,197x0,766x0,004x0,039x0,319) <sup>1/5</sup> = 0,094				
Rerata Total (1+2+3)		9,686	0,22	19,803	58,53	17,503
Rerata Alami (shale) *		20	0,3	45	95	68

\*Mohiuddin et al., (2010)

### **Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH)**

Kandungan total PAH di Perairan Ancol/Marunda berkisar 0,45-1,23  $\mu\text{g.g}^{-1}$  dengan total 3,67  $\mu\text{g.g}^{-1}$  dan rerata 0,61  $\mu\text{g.g}^{-1}$ , di Muara Gembong berkisar 0,94-1,40  $\mu\text{g.g}^{-1}$  dengan total 7,58  $\mu\text{g.g}^{-1}$  dan rerata 1,263  $\mu\text{g.g}^{-1}$ . dan di Pulau Pari berkisar 0,45-2,21  $\mu\text{g.g}^{-1}$  dengan total 7,38  $\mu\text{g.g}^{-1}$  dan rerata 1,230  $\mu\text{g.g}^{-1}$  (Tabel 4). Data ini menunjukkan sedimen di perairan Muara Gembong lebih banyak menerima masukan limbah yang mengandung PAH.

Kandungan total PAH hasil penelitian ini (0,61, 1,263, 1,230  $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) masih lebih rendah bila dibandingkan dengan hasil penelitian di Teluk Jakarta tahun 2011 dan 2013. Kandungan total PAH pada Tahun 2011 di Teluk Jakarta berkisar 67,92-252,25  $\mu\text{g.g}^{-1}$  (Edward, 2011b) dan pada tahun 2013 berkisar 119,976-605,928  $\mu\text{g.g}^{-1}$  (Edward, 2013). Hasil penelitian ini lebih tinggi bila dibandingkan dengan kandungan total PAH di Perairan Pakis Jaya Karawang (Teluk Jakarta) yang berkisar 0,113-0,862  $\mu\text{g.g}^{-1}$  (Edward, 2015). Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, adanya perbedaan hasil penelitian ini dengan penelitian terdahulu dapat disebabkan oleh perbedaan waktu penelitian, jumlah dan letak stasiun serta aktivitas yang ada di masing-masing lokasi. Kandungan total PAH dalam sedimen di Perairan Ancol/Marunda, Muara Gembong dan Pulau Pari ini juga masih lebih tinggi bila dibandingkan dengan Nilai Ambang Batas (NAB) yang aman untuk biota laut yakni 4,5  $\mu\text{g.g}^{-1}$  (Simpson et al., 2005) dan 1,684  $\mu\text{g.g}^{-1}$  (Burton et al., 2002). Hal ini dapat membahayakan kehidupan biota laut yang hidup dan mencari makan dalam sedimen.

Dari Tabel 4 juga dapat dilihat kandungan PAH bervariasi di setiap

stasiun, adanya variasi kadar total PAH antar stasiun ini dapat disebabkan oleh pola arus. Arah dan kecepatan arus yang selalu berubah-ubah dapat menyebabkan pola penyebaran PAH tidak merata (Agustine, 2008). PAH dapat diuraikan oleh mikroorganisme seperti bakteri, fungi, dan algae tertentu yang hidup di tanah, substrat sedimen atau yang terapung di kolom air (Gibson et al., 1975; Gibson, 1976; Yetti et al., 2016). Selain itu PAH juga dapat terurai oleh sinar UV yang berasal dari matahari (photolysis) (Abdel Shafy and Mansour., 2015) atau mengalami degradasi akibat suhu udara (Umar et al., 2017). Proses penguapan dapat pula menghilangkan PAH dengan berat molekul rendah pada perairan (USEPA 1982a, 1982b, 1982c). Faktor tersebut yang diduga menyebabkan variasi baik kadar maupun jenis PAH di setiap stasiun.

Pada Tabel 6 dapat dilihat kriteria tingkat pencemaran senyawa PAH dalam sedimen yakni rendah (0-0,100  $\mu\text{g.g}^{-1}$ ), sedang (0,1-1,000  $\mu\text{g.g}^{-1}$ ), tinggi (1,000-5,000  $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) dan sangat tinggi (>5  $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) (Nasher et al., (2003). Kandungan PAH dalam sedimen di Perairan Ancol/Marunda berkisar 0,45-1,23  $\mu\text{g.g}^{-1}$ , di Muara Gembong 0,94-1,400  $\mu\text{g.g}^{-1}$  dan di Pulau Pari berkisar 0,45-2,21  $\mu\text{g.g}^{-1}$ . Kandungan ini berada pada kisaran 0,000-5,000  $\mu\text{g.g}^{-1}$ . Berdasarkan kriteria tersebut sedimen di ke tiga lokasi penelitian termasuk kriteria tercemar rendah sampai tinggi.

Tabel 6. Korelasi antara kadar PAH dengan komposisi sedimen

Lokasi		Kadar PAH µg. g <sup>-1</sup>	Pasir %	Lanau %	Lempung %	R1	R2	R3	Rt 5%
Pantai Ancol /Marunda	St 1	1,23	95,8	0,4	0,2	-0,238	0,694	0,486	0,811
	2	0,69	66,7	0,7	0,4				
	3	0,45	98,9	0,1	0,3				
	4	0,62	98,5	0,2	0,3				
	5	0,46	94,1	0,2	0,3				
	6	1,22	79,4	1,4	1,0				
Muara Gembong	St 1	1,4	22,3	49,7	26,8	0,146	0,316	-0,379	0,811
	2	1,4	2,8	56,3	40,7				
	3	1,4	12,8	50	36,5				
	4	0,94	11,5	44,3	41,1				
	5	1,21	6,0	55	37,8				
	6	1,23	6,7	63,8	29,2				
Pulau Pari	St 1	0,45	85,3	2,1	5,2	-0,573	0,365	-0,866	0,811
	2	1,23	76,3	13,3	2,8				
	3	1,04	84,2	2,2	1,8				
	4	1,22	91,2	4,7	2,5				
	5	2,21	69,3	6,5	0,2				
	6	1,23	67,2	6,1	1,4				

Tabel 7. Perbandingan penelitian kadar total PAH di Teluk Jakarta

Lokasi	Jumlah Stasiun	Kadar PAH µg. g <sup>-1</sup>	Keterangan
T. Jakarta, Ancol	6	0,45-1,23	Penelitian ini
T. Jakarta, Muara Gembong	6	0,94-1,40	Penelitian ini
T. Jakarta, P. Pari	6	0,45-2,21	Penelitian ini
T. Jakarta, Barat, Maret 2013	4	1,603-10,237	Edward (2013)
T. Jakarta, Tengah, Maret 2013	4	2,134-9,512	Edward (2013)
T. Jakarta, Timur, Maret 2013	4	1,240- 10,192	Edward (2013)
T. Jakarta, Maret 2013	5	1,874-9,449	Edward (2013)
T. Jakarta, Barat, Mei 2013	3	0,269-0,606	Edward (2013)
T. Jakarta, Tengah, Mei 2013	4	0,066-0,472	Edward (2013)
T. Jakarta, Timur, Mei 2013	4	0,426-1,229	Edward (2013)
T. Jakarta, Mei 2013	5	0,149-0,422	Edward (2013)
T. Jakarta, Barat, Maret 2011	4	64,241-107,931	Edward (2011b)
T. Jakarta, Tengah, Maret 2011	4	16,14-77,71	Edward (2011b)
T. Jakarta, Timur, Maret 2011	4	8,72-115,39	Edward (2011b)
T Jakarta, Barat, Juli 2011	4	28,563-124,693	Edward (2011b)
T Jakarta, Tengah, Juli 2011	4	26,655-80,935	Edward (2011b)
T Jakarta, Timur, Juli 2011	4	15,971-65,066	Edward (2011b)

T Jakarta, Maret 2011	5	11,10-52,25	Edward (2011b)
T Jakarta, Juli 2011	5	28,609-48,757	Edward (2011b)
T Jakarta, Barat, Sept 2015	8	1,198-7,975	Khozanah et al., (2017)
T Jakarta, Tengah, Sept 2015	8	1,622-8,259	Khozanah et al., (2017)
T Jakarta, Timur, Sept 2015	7	1,597-2,966	Khozanah et al., (2017)

Hasil analisis korelasi antara kandungan total PAH dengan komposisi sedimen pasir, lanau dan lempung disajikan pada Tabel 6. Dari tabel tersebut dapat dilihat untuk Perairan Ancol/Marunda, koefisien korelasi antara kandungan PAH dengan % pasir, lanau dan lempung berturut-turut adalah -0,238, 0,694, dan 0,486. Nilai ini lebih kecil dari R tabel 5% yakni 0,811, hal ini menunjukkan tidak ada korelasi positif antara kandungan PAH dengan % pasir, lanau dan lempung.

Koefisien korelasi antara kandungan PAH dengan % pasir, lanau dan lempung di Perairan Muara Gembong berturut-turut adalah 0,146, 0,316 dan -0,379, nilai ini juga lebih kecil dari R tabel 5% yakni 0,811 yang berarti tidak terdapat korelasi positif antara kadar PAH dengan % pasir, lanau dan lempung.

Untuk Pulau Pari, koefisien korelasi antara kadar PAH dengan % pasir, lanau dan lempung berturut-turut adalah -0,573, 0,365 dan -0,866. Nilai R hitung untuk % pasir dan lanau juga lebih kecil dari R tabel 5%, nilai ini menunjukkan tidak terdapat korelasi positif antara kadar PAH dengan % pasir dan lanau ( $R_h < R_{t5\%}$ ). Untuk lempung, terdapat korelasi negatif antara kadar lempung dengan kadar PAH, nilai R hitung  $> R$  tabel 5% ( $-0,866 > 0,811$ ), yang secara statistik berarti semakin rendahnya kadar lempung dalam sedimen akan menyebabkan semakin rendah pula kadar PAH.

Gu et al., (2017) dalam penelitiannya mendapatkan berdasarkan hasil uji statistik tidak ada korelasi positif antara total kandungan PAH dengan karakteristik dari jenis penyusun sedimen. Keadaan ini serupa dengan yang dijumpai di Perairan Ancol/Marunda, Muara Gembong dan Pulau Pari (kecuali lempung).

Pada Tabel 7 berikut disajikan perbandingan kadar total PAH hasil penelitian ini dengan hasil penelitian lain di Teluk Jakarta. Dari tabel tersebut dapat dilihat kadar total PAH hasil penelitian ini relatif masih rendah bila dibandingkan dengan kadar total PAH hasil penelitian pada bulan Maret dan Juli tahun 2011, bulan Maret 2013, dan September 2015, namun relatif tinggi bila dibandingkan dengan kadar total PAH pada bulan Mei 2013. Data ini menunjukkan Perairan Ancol/Marunda, Muara Gembong dan Pulau Pari relatif lebih sedikit menerima masukan limbah yang mengandung PAH dibandingkan dengan bulan Maret 2013, 2011 dan September 2015, namun lebih banyak menerima masukan limbah yang mengandung PAH bila dibandingkan dengan Mei 2011. Data di atas menunjukkan adanya variasi kadar total PAH baik antar lokasi maupun stasiun penelitian. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh pengaruh waktu pengamatan dan letak stasiun yang tidak sama serta aktivitas di masing-masing lokasi.



## KESIMPULAN

Kandungan logam berat Pb, Cd, Cu dalam sedimen di perairan Teluk Jakarta relatif masih rendah dan masih sesuai dengan Nilai Ambang Batas yang ditetapkan untuk kepentingan biota laut yang ditetapkan *Canadian Council of Ministers for the Environment*, kecuali Zn di muara Gembong, sedang Ni di Perairan Ancol/Marunda masih sesuai dengan nilai ambang batas yang ditetapkan oleh *British Columbia Ministry of Water, Land and Air Protection*, kecuali Pulau Pari dan Muara gembong. Berdasarkan indeks kriteria pencemaran, maka perairan Teluk Jakarta termasuk kategori terkontaminasi rendah dan kategori tidak tercemar. Kadar total PAH hasil penelitian ini juga relatif rendah dan belum berbahaya bagi kehidupan biota laut yang hidup dan mencari makan dalam sedimen.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih terutama ditujukan kepada para peneliti dan teknisi yang telah membantu dalam pengambilan dan analisa sampel di laboratorium.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Shafy, I.H., Mansour, S.M.M., 2015. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian Journal of Petroleum*. 25: 107-123.
- Agustine, D., 2008. Akumulasi Hidrokarbon Polisiklik (PAH) dalam Kerang Hijau (*Verna Viridis* L) di Perairan Kamal Muara, Teluk Jakarta. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor, Indonesia.
- Adel, R.M., Al-Fatlawy, Y.F., Najim Abd Own, A., Nameer. M., 2011. Using Pollution Load Index (PLI) and Geoaccumulation Index (I-Geo) for the Assessment of Heavy Metals in Tigris Rivrer Sediment in Bagdad Region. *Journal of Al-Nahrain University*. 14 (4): 108-114.
- Burton, G.A., 2002. Sediment quality criteria in use around the world. *Limnology*. 3: 65-75.
- BCMWLAP, 2006. A Compendium of Working Water Quality Guidelines for British Columbia. MWLAP.
- Bing, H., Zhou, J., Wu, Y., Wang, X., Sun, H., Li, R., 2016. Current state, sources, and potential risk of heavy metals in sediments of Three Gorges Reservoir, China. *Environ. Pollut.* 214: 485-496.
- Barokah, RG., Dwiytino, dan Indrianto 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* Vol. 14 No. 2 Tahun 2019: 95-106.
- Budiyanto, F dan Lestari. 2017. Sebaran Temporal dan Spasial Logam Berat di Sedimen Perairan Pesisir: Studi Kasus Teluk Jakarta, Indonesia. *Bulletin of the Marine Geology*, Vol. 32, No. 1, June 2017, 1-10.
- CCME, 2002. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life Summary Table. Winnipeg, MB.
- Darmayanti, Y., Suhartati M Natsir, Lies Indah S, NR Afrianti, Dwi H, K Munawir, R Luthan, Lestari, Deny Y, Herman R, Abd Rozak, T Kaisupy, Suci L, Salim I, E Matondang. 2016. Pengembangan teknik bioremediasi di kawasan tercemar minyak perairan teluk Jakarta. Pusat Penelitian Oseanografi. Lembaga Ilmu



- Pengetahuan Indonesia. Jakarta, Indonesia.: 36 hal
- Domingos, M., Bulbovas, P., Camargo, C. Z. S., Aguiar-Silva, C., Brandão, S. E., Dafré-Martinelli, M., Dias, A.P.L., Engela, M.R.G.S., Galiano, J., Moura, B.B., Alves, E.S., Rinaldi, M.C.S., Gomes, E.P.C., Furlan, C.M., Figueiredo, A. M. G., 2015. Searching for native tree species and respective potential biomarkers for future assessment of pollution effects on the highly diverse Atlantic Forest in SE-Brazil. *Environmental Pollution*. 202: 85–95.
- Duinker, J.C.&M.Th.J. Hillebrand. 1978. Determination of selected organochlorine in seawater. In: K. Grasshoff.M. Erhardt and K. Kremling (Eds). *Methods of seawater analysis*. Verlag Chemie. Weinheim: 290-304
- Duruibe, J.O., Ogwuegbu, M.C., Egwurugwu, J.N., 2007. Heavy Metal Pollution and Human Biotoxic Effects. *International Journal of Physical Sciences*. 2 : 112-118.
- Edward., 2015. Kandungan dan sumber asal senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) dalam sedimen di Perairan Pakis Jaya, Kabupaten Karawang. *Jurnal Akuatika*. 6 (2): 95-106.
- Edward., 2013. Kajian Kriteria Kualitas Air Laut melalui Monitoring Tingkat Pencemaran dan Bioassay Senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) di Teluk Jakarta. Pusat Penelitian Oseanografi. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Jakarta, Indonesia.
- Edward., 2011b. Kaji mutu senyawa Organik. Pusat Penelitian Oseanografi. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Jakarta, Indonesia.
- Febris, G.J., Warner, G.F., 1994. Characterization of Toxicants in Sediments from Post Philips Bay: Metals Final Report. Australia. Department of Conservation and natural Resources Melbourne.
- Gibson, D.T., 1976. Microbial degradation of carcinogenic hydrocarbons and related compounds. In: Sources, effects and sinks of hydrocarbons in the aquatic environment. American Institute of Biological Sciences. Washington. DC.
- Gibson, D.T., Mahdevan, V., Jerina, D.M., Yogi, H., Yeh, H.J., 1975. Oxidation of the carcinogens benzo (a) pyrene and benzo (a) anthracene to dihydrodiols by a bacterium. *Science*: 189:295–297.
- Gu, Y., Li, H., Lu, H., 2017. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments from the largest deep plateau lake in China: Occurrence, sources and biological risk. *Ecological Engineering*. 101: 179–184. doi: 10.1016/j.ecoleng.2017.02.007.
- Greve, P.V. and Grevenstuck, W.B.F. 1975. A convenient small-scale clean up method for extract of fatty samples with basic alumina before GLC analysis on organochlorine pesticide residue. *Mede. Fac. Landbouwwet. Rijksuniv. Gent* 40: 1115-1124
- Holden, A.V. and Marsden, K. 1969, Single state clean up of animal tissue extract for organochlorine residue analysis. *J. Chrom.*44: 481-492

- Islam, S., Ahmed, K., Habibullah-Al-Mamun, M., Masunaga, S., 2015. Potential ecological risk of hazardous elements in different land-use urban soils of Bangladesh. *Sci. Total Environ.* 512–513: 94–102.
- Khozanah, Yogaswara, D., 2017. Pengaruh aktivitas antropogenik terhadap sebaran dan jumlah jenis polisiklik aromatic hidrkarbon (PAH) dalam air laut dan sedimen di perairan Teluk Jakarta. *Jurnal geology kelautan.* 15 (2) : 63-71.
- Kong, S., Li, X., Li, L., Yin, Y., Chen, K., Yuan, L., Zhang, Y., Shan, Y., Ji, Y. 2015. Variation of polycyclic aromatic hydrocarbons in atmospheric PM<sub>2.5</sub> during winter haze period around 2014 Chinese Spring Festival at Nanjing: Insights of source changes, air mass direction and firework particle injection. *Science of the Total Environment.* 520: 59–72.
- Lawal T.A., 2017. Polycyclic aromatic hydrocarbons. A review. Peter Fantke (Reviewing Editor). *Cogent Environmental Science*, 3:1. doi: 10.1080/23311843.2017.1339841
- Li, D., Huijbregts, M. A. J., Jolliet, O. 2015. Life cycle health impacts of polycyclic aromatic hydrocarbon for source specific mixtures. *Int J Life Cycle Assess.* 20: 87–99. doi : 10.1007/s11367-014-0810-6.
- Mumtaz, M., George, J., 1995. Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Retrieved from <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp69.pdf>
- 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. *Int. J. Environ. Sci. Tech.* 7 (1):17-28.
- Nasher, E., Heng, L.Y., Zakaria, Z., Surif, S., 2013. Assessing the Ecological Risk of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments at Langkawi Island, Malaysia Hindawi Publishing Corporation. *The Scientific World Journal.* 2013 : 13 pages. doi: 10.1155/2013/858309
- Ong M.C., Tan Y.F., Khoo X.Y., Yong, J.C., 2015. Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Concentration in Mud Crab (*Scylla Serrata*) from UMT Mangrove, Terengganu, Malaysia. *Advances in Environmental Biology.* 9(21): 66-73.
- Omwene, P.I., Öncel, M.S., Çelen, M., Kobya, M., 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.
- Olayinka, O.O., Adewusi, A.A, Olujimi, O.O., Aladesida, A.A., 2019. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediment and Health Risk of Fish, Crab and Shrimp Around Atlas Cove, Nigeria. *J Health Pollution.* 9 (24): 1-21.
- Pongpiachan, S., 2015. Impacts of agricultural waste burning on the enhancement of PM 2.5-bound polycyclic aromatic hydrocarbons in northern Thailand. *WIT*

- Transactions on Ecology and the Environment. 198: 3–14.
- Parizanganeh, A.H., Bijnavand, V., Zamzani, A.A., Hajabolfath, A., 2012. Concentration, Distribution and Comparison of Total and Biavailable Heavy Metals in Top Soils of Banab District in Zanjan Province. *Journal of Soil Science*. 2: 123-132.
- Permanawati, P., Rina Zuraida, dan Andrian Ibrahim. 2013. Kandungan logam berat (Cu, Pb, Zn, Cd dan Cr) dalam air dan sedimen di Perairan Teluk Jakarta. *Jurnal geologi kelautan* Volume 11, No. 1, April 2013: 9-16.
- Qingjie, G., Jun, D., Yunchuan X., Qingfei, W., Liqiang, Y., 2008. Calculating Pollution Indices by Heavy Matlas in Ecological Geochemistry Asserssment and a Case Study in Parks of Baijing. *Journal of China University of Geosciences*. 19 (3): 230-241.
- Rochyatun, E., Rozak, A., 2007. Pemantauan kadar logam berat dalam sedimen di perairan Teluk Jakarta. *Makara Seri Sains*. 11 (1) : 28-36.
- Shams, T. M., Ray, S., Kabir, M.I., Purkayastha, T., 2012. Assessment of Heavy Metals Contamination in Incinerated Medical Waste. *ARPN Journal of Science and Technology*. 2 (10) : 904-911.
- Simpson, S.L., Batley, G.A., Chariton, A.A., Stauber, J.L., King, C.K., Chapman, J.C., Hyne, R.S., Gale, S.A., Roach, A.C., Maher., W.A., 2005. *Handbook for Sediment Quality Assessment*. Publish by Centre Environment Contamination Research. Csiro Bangor-NSW
- Sekabira, K., Origa, H.O., Basamba, T.A., Mutumba, G., Kakudidi, E., 2010. Assessment of heavy metal pollution in the urban stream sediments and its tributaries. *Int. J. Environ. Sci. Technol*. 7: 435–446.
- SOP (*Standard Operation Procedure*). 2013. *Metode Analisis Senyawa Organik PAH, Pestisida dan Polikloridabifenil dalam Air laut, Sedimen dan Biota*. Pusat Penelitian Oseanografi. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Jakarta, Indonesia.
- Tóth, T., Vollmannova, A., Tomáš, J., Andreji, J., Lazor, P., Miššík, J. Tóth, J., Bajčan, D., 2011. Cadmium, lead and mercury contents in fishes. In : *Chemické listy*. 105 (6): 1042.
- Umar, D Z., Aziz, N.A., Zulkifli, S.Z., Mustafa, M., 2017. Rapid biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) using effective *Cronobacter sakazakii* MM045 (KT933253). *MethodsX*. 4: 104–117.
- USEPA. 1982a. An exposure and risk assessment for benzo (a) pyrene and other polycyclic aromatic hydrocarbons: Volume II. Naphthalene. USEPA. Office of Water Regulations and Standards. Washington. DC.13
- USEPA. 1982b. An exposure and risk assessment for benzo(a)pyrene and other polycyclic aromatic hydrocarbons: Vol. III. Anthracene. acenaphthene. fluoranthene. fluorene. phenanthrene. and pyrene. USEPA. Office of Water

- Regulations and Standards. Washington. DC.
- USEPA 1982c. An exposure and risk assessment for benzo(a)pyrene and other polycyclic aromatic hydrocarbons: Vol. IV. Benzo(a)pyrene. acenaphthylene. benz(a) anthracene. benzo(b)fluoranthene. benzo(k)fluoranthene. benzo(g,h,i) perylene. chrysene. dibenz(a,h) anthracene. and indeno (1.2.3-c,d) pyrene. USEPA. Office of Water Regulations and Standards. Washington. DC.
- USEPA., 1996. Method 3050B - Acid digestion of sediments, sludges, and soils. doi:10.1117/12.528651.
- Veerasingam, S., chalapathy, R.V., Ramkumar, T., 2012. Heavy Metals and Ecological Risk Assessment in Marine Sediments of Chennai, India. *Carpathian Journal of Earth and Enviromental Sciences*. 7 (2):111-124.
- Vodyanitskii, Y.N., 2016. Standards for the contents of heavy metals in soils of some states. *J. Ann. Agrarian Sci*. 14: 257–263.
- Westerlund, S., Magnuson, B., 1981. Solvent extraction procedures combined with back titration for trace metals determinations by atomic absorption spectrometry. *Anal.Chim. Acta*. 131: 63-72
- Wang, C., Dao, X., Zhang, L. L., Lv, Y. B., Teng, E. J., 2015. Characteristics and toxicity assessment of airborne particulate polycyclic aromatic hydrocarbons of four background sites in China. *Zhongguo Huanjing Kexue/China. Environmental Science*. 35: 3543–3549.
- Wang, X., Thai, P. K., Li, Y., Li, Q., Wainwright, D., Hawker, D. W., Mueller, J. F., 2016. Changes in atmospheric concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls between the 1990s and 2010s in an Australian city and the role of bushfires as a source. *Environmental Pollution* 213: 223–231.
- Winconsin Department of Natural Resources. 2003. Consensus Based Sediment Quality Guidelines. Recommendations for Use and Application. Department of Interior, Washington D.C. 20240: 17 p.
- Xia, F., Qu, L., Wang, T., Luo, L., Chen, H., Dahlgren, R.A., Zhang, M., Mei, K., Huang, H., 2018. Distribution and source analysis of heavy metal pollutants in sediments of a rapid developing urban river system. *Chemosphere* 207: 218–228.
- Yetti, E., Thontowi, A., Yopi., 2016. Polycyclic aromatic hydrocarbon-degrading bacteria from the Indonesian. *Marine Environment*. 17 (2): 857-864. doi: 10.13057/biodiv/d170263.
- Zhang, Y.X., Tao, S., Shen, H.Z., Ma, J.M. 2009b. Inhalation exposure to ambient polycyclic aromatic hydrocarbon and lung cancer risk of Chines population. *Proceeding of the National Academy of Sciences*. 106: 21063-21067

