

PENDUGAAN TINGKAT KONTAMINASI LOGAM BERAT PB, CD DAN CR PADA AIR DAN SEDIMEN DI PERAIRAN SEGARA ANAKAN, CILACAP

Nuning Vita Hidayati¹, Asrul Sahri Siregar¹, Lilik Kartika Sari¹, Gayuh Laksana Putra¹, Hartono¹, I Putu Nugraha¹, Agung Dhamar Syakti²

¹Laboratorium Manajemen Kualitas Air, FPIK Universitas Jenderal Soedirman

²Laboratorium Bioteknologi Kelautan, FPIK Universitas Jenderal Soedirman

E-mail : nuningvh@gmail.com

ABSTRACT

A study was carried out to investigate the concentrations and contamination levels of heavy metals in the sediments of Segara Anakan, Cilacap for three heavy metals (Cd, Pb, and Cr). sediments samples were collected from six sites during February 2013. The samples were analyzed to determine their heavy metals, pH and total organic carbon (TOC) content. Environmental assessment of sediments pollution by heavy metal was carried out using Contamination Factor (CF), Enrichment Factor (EF) by comparing to CCME, ANZECC and NOAA targets for sediment quality Guidelines. The results of this simple comparison revealed that, the Segara Anakan sediment concentrations of heavy metals are within the permissible limits of standards for Pb. CF value of Pb, Cd, and Cr (0.86, 10.8, dan 3.3) indicated no contamination for Pb (0.86), very strong contamination for Cd (10.8), and moderately to strong contamination for Cr. Calculated EF of the Pb, Cd, Cr in sediment were 1.50, 18.8, dan 5.7 indicating deficiency to low enrichment for Pb anthropogenically, and significant enrichment for Cd and Cr. According to the CF and EF value, Segara Anakan may face a severe heavy metal pollution contamination problem in the future.

Keywords: sediments, contamination, anthropogenic

PENDAHULUAN

Segara Anakan merupakan estuari yang terletak di kawasan pesisir Cilacap. Daerah ini terlindung oleh pulau karang Nusakambangan, yang memisahkannya dari Samudera Indonesia. Meskipun demikian, Segara Anakan tetap terhubung dengan Samudera Indonesia melalui dua kanal, yaitu kanal timur (Plawangan Timur/Selat Motean) dan kanal barat (Plawangan Barat/Selat Majingklak). Kedua kanal ini menyebabkan Segara Anakan tetap terpengaruh oleh gerakan pasang surut Samudera Indonesia.

Berdasarkan potensi wilayahnya, Segara Anakan telah ditetapkan sebagai salah satu kawasan konservasi strategis nasional yang mempunyai ciri khas sebagai satu kesatuan ekosistem sebagaimana tertuang dalam pasal 28 ayat 3 huruf d dalam UU No. 26 tahun 2007 tentang pengelolaan pesisir dan pulau-pulau kecil dan PP. Nomor 26 Tahun 2008 tentang RTRWN bahwa "*Kawasan*

Ekosistem Segara Anakan Cilacap merupakan salah satu kawasan Strategis Nasional yang perlu mendapat perhatian khusus" dari pemerintah.

Pada wilayah Plawangan Timur, Segara Anakan mendapat masukan air tawar dari Sungai Donan, Kembang Kuning, Dangal dan Sapuregel yang banyak dimanfaatkan masyarakat sebagai area tangkapan nelayan dan jalur transportasi umum. Kawasan ini merupakan jalur pelayaran untuk industri serta banyak dimanfaatkan untuk berbagai aktivitas diantaranya Pelabuhan Sleko, bengkel kapal, pemukiman, pertanian. Aktivitas industri juga banyak terdapat di kawasan ini, diantaranya industri pengolahan minyak bumi dengan aktivitas pengilangan minyak, bongkar muat minyak mentah di areal dan pengolahan minyak; Kawasan Industri Cilacap (KIC); serta industri semen yang melakukan kegiatan proses produksi semen dan distribusi bahan baku semen, berupa pemuatan kapur maupun bongkar muat

bahan baku batubara dan hasil produksi berpotensi menimbulkan masuknya bahan pencemar yang berbahaya dan beracun ke dalam perairan, yang berakibat pada menurunnya kualitas perairan. Diantara jenis bahan pencemar yang diduga terkandung dalam limbah dari aktivitas tersebut adalah logam berat Timbal (Pb), Cadmium (Cd) dan Chromium (Cr) (Santos *et al.*, 2005).

Selain masuk melalui jalur non alamiah tersebut, baik logam berat Pb, Cd maupun Cr juga masuk ke dalam perairan melalui jalur alamiah. Jalur alamiah meliputi tanah, udara, dan air. Distribusi logam berat pada media air akan terus meningkat seiring dengan peningkatan jumlah logam berat yang masuk dalam perairan. Logam berat dalam air selanjutnya dapat terakumulasi dalam sedimen, karena logam berat memiliki kemampuan untuk berikatan dengan senyawa organik untuk membentuk kompleks yang akhirnya mengendap di dasar perairan, dan pada akhirnya dapat menimbulkan pengaruh buruk terhadap biota dan manusia (Dolaria, 2004; Marchand *et al.*, 2006; Pekey, 2006).

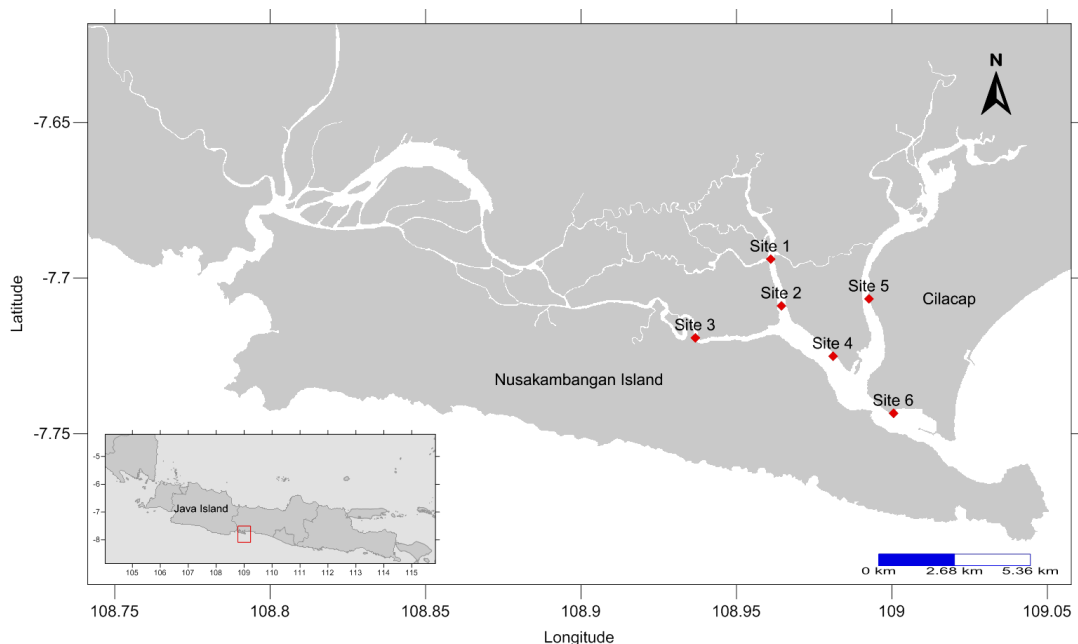
Kontaminasi logam berat di lingkungan pesisir terus menarik perhatian peneliti karena terus meningkatnya input logam di pesisir perairan, terutama di negara-negara berkembang. Bahkan, beberapa dekade terakhir kegiatan industri dan perkotaan memberikan kontribusi cukup

Keberadaan berbagai aktivitas tersebut signifikan terhadap peningkatan kontaminasi logam berat di lingkungan laut (Ong dan Kamaruzzaman, 2009).

Studi ini akan mengkaji status pencemaran perairan berdasarkan kandungan logam berat pada air dan sedimen di Segara Anakan Cilacap. Selanjutnya dilakukan pula analisis untuk mengetahui tingkat kontaminasi logam berat dan evaluasi sumber pencemar berdasarkan konsentrasinya pada sedimen. Konsentrasi logam berat dalam sedimen dapat memberikan bukti origin sumber pencemar pada ekosistem air, dan karena itu dapat membantu dalam menilai dan mengendalikan risiko yang terkait dengan biota air dan manusia.

METODOLOGI

Pengambilan sampel dilakukan dengan metode *purposive random sampling*. Penentuan stasiun pengambilan sampel berdasarkan pada kondisi lingkungan dan keberadaan sumber bahan pencemar. Pengambilan sampel air dan sedimen dilakukan pada saat surut secara komposit pada tiga titik di setiap stasionnya yang diulang sebanyak 3 kali ulangan dengan interval waktu satu minggu. Lokasi pengambilan sampel tersebut disajikan dalam Tabel 1 dan Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi pengambilan sampel, Segara Anakan Cilacap (1 Muara sungai Dangal, 2 Muara sungai Sapuregel, 3 Muara sungai Kembang Kuning, 4 Kutawaru, 5 Muara sungai Donan, dan 6 Kebon Sayur)

Tabel 1. Lokasi stasiun pengambilan sampel

Stasiun	Lokasi	Koordinat	Deskripsi
I	Sungai Dangkal	S 07 ⁰ 41'01,6" E 109 ⁰ 00'38,5"	Hilir Sungai Dangkal, hutan mangrove, areal tangkapan nelayan.
II	Sungai Sapuregel	S 07 ⁰ 41'00,4" E 109 ⁰ 00'36,5"	Hilir Sungai Sapuregel, hutan mangrove, areal tangkapan nelayan, dan jalur kapal-kapal nelayan.
III	Sungai Kembang Kuning	S 07 ⁰ 43'09,1" E 108 ⁰ 56'12,4"	Hilir Sungai Kembang Kuning, Hutan mangrove, jalur kapal-kapal nelayan.
IV	Kuto Waru	S 07 ⁰ 43'30,4" E 108 ⁰ 58'51,9"	Hilir Sungai Dangkal, Sapuregel, dan Kembang Kuning, daerah hutan mangrove, jalur kapal-kapal nelayan.
V	Sungai Donan	S 07 ⁰ 42'24,0" E 108 ⁰ 59'33,4"	industri, transportasi umum, dan kapal-kapal tanker bongkar muat minyak, serta terdapat pemukiman dan pertanian.
VI	Kebon Sayur	S 07 ⁰ 44'36,4" E 109 ⁰ 00'01,9"	Tempat aktivitas pelayaran industri, transportasi umum, dan kapal-kapal nelayan, serta terdapat pemukiman dan pertanian.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah GPS 3 plus merk Garmin, botol sampel polietilen 600 ml, botol winkler 250 ml, wadah sedimen yang terbuat dari polietilen 250 gram, plastik hitam 2 kg, *Eckmann grab*, *ice box* volume 20 L, oven merk Jeio Tech, penangas air merk Maspion Elektrik Stove S-300, desikator, buret *pyrex* 50 ml (0,05 ml), statif, gelas ukur 100 ml, 50 ml, 10 ml, dan 5 ml, labu erlenmeyer, pipet tetes, beker glass, termometer *celcius*, kertas saring Whatman no. 41, pH paper universal, *handrefraktometer* merk Atago dan AAS GBC 932 AA (10^{-2} ppm).

Adapun bahan yang digunakan adalah sampel sedimen dan air, larutan amonium asetat, amonium klorida (NH₄Cl), asam klorida (HCl) encer, amonium pyrrolidine dithio carbamate (APDC), natruim dietil ditio karbamat (NaDDC), metil iso butil keton (MIBK), asam nitrat (HNO₃) pekat, akuabides (untuk preparasi sampel); larutan standar Pb dan Cr (untuk analisis kandungan logam berat); larutan MnSO₄, larutan KOH-KI, larutan H₂SO₄ pekat, indikator amilum 0,5%, larutan Na₂S₂O₃ 0,025 N (untuk DO). Serbuk Hg₂SO₄, batu didih, larutan K₂Cr₂O₇ 0.25 N, larutan asam sulfat-perak sulfat, larutan H₂SO₄, larutan feroin, dan larutan (*ferrous ammonium sulfate*) FAS (untuk COD

Bikromat); K₂Cr₂O₇ 1 N, H₂SO₄ pekat, dan aquabides (untuk TOC).

Parameter Penelitian

Parameter utama dalam penelitian ini adalah kandungan logam berat Pb, Cd dan Cr pada air dan sedimen. Parameter pendukung meliputi parameter kualitas air yang terdiri dari temperatur, salinitas, pH, Oksigen Terlarut (DO), COD dan TOC.

Pengambilan Sampel dan Analisis Logam Berat

a). Sampel Air

Sampel air diambil pada bagian permukaan air secara komposit sebanyak 250 ml pada saat surut. Sampel air dimasukan ke dalam botol sampel yang terbuat dari bahan polietilen dan diberi label. Untuk mengikat logam berat, pH air sampel diturunkan menjadi 1 atau 2 dengan menambahkan larutan HNO₃ pekat sebanyak ± 0,75 ml (15 tetes), kemudian didinginkan dalam *ice box*. Selanjutnya, dilakukan analisis di Laboratorium (Hutagalung, 1997).

Di Laboratorium, Masukkan 100 ml contoh air laut ke dalam corong pisah *teflon*, tambahkan 5 ml campuran penahan *amonium asetat* (kocok dengan baik), atur pH-nya 3,5 – 4 dengan menambahkan NH_4Cl atau HCl encer, tambahkan 5 ml larutan APDC dan 5 ml NaDDC, kocok selama 1 menit, tambahkan 25 ml pelarut MIBK, (kocok selama 30 detik), biarkan selama 5 menit agar kedua fase terpisah, tampung fase airnya, masukan 10 ml aquabides ke dalam corong pisah, kocok selama 5 menit biarkan kedua fase terpisah (buang fase airnya), tambahkan 1,0 ml *Asam Nitrat* (HNO_3) pekat (kocok sebentar) biarkan selama 1 jam, tambahkan 19 ml aquabides (kocok selama 20 menit) biarkan kedua terpisah, tampungan fase airnya siap diukur dengan AAS menggunakan nyala udara-asetilen (Hutagalung, 1997).

Selanjutnya dibuat larutan standar logam berat untuk mengetahui persamaan dari kurva standar logam yang digunakan untuk menghitung kandungan logam berat dari sampel yang dianalisis. Dibuat 8 konsentrasi, kemudian masing-masing konsentrasi diukur absorbansinya. Kandungan logam berat dalam media air dan sedimen diukur dengan metode AAS (*Atomic Absorbtion Spectro-meter*) yang memiliki tingkat ketelitian 10^{-2} ppm.

b). Sampel sedimen

Sampel sedimen diambil secara komposit sebanyak 250 gram pada saat surut, menggunakan alat *eckmann grab*, dan dimasukkan dalam tempat contoh sedimen yang terbuat dari bahan polietilen kemudian dibungkus dengan kantong plastik dan diberi label, didinginkan dalam *ice box*. Kemudian dilakukan analisis di laboratorium (Hutagalung, 1997).

Sampel sedimen diambil sebanyak 10-20 gram, masukan sedimen dalam

beker teflon atau plastik, keringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam dinginkan dalam deksikator ambil 10-20 gram (masukan ke dalam tabung sentrifus polietilen) tambahkan 500 ml aquabides kemudian di aduk (sentrifus selama 30 menit dengan kecepatan 2000 rpm), buang kembali fase airnya, keringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam selama 24 jam, timbang sebanyak 1 gram, masukan ke dalam "*teflon bomb*" atau teflon beker yang mempunyai tutup, tambahkan 5 ml aqua regia, dengan pelan-pelan tambahkan 6 ml *asam fluorida* (HF), panaskan pada suhu 103°C . setelah semua sedimen larut (teruskan pemanasan hingga larutan hampir kering), dinginkan pada suhu ruang, tambahkan 1 ml (HNO_3) pekat (aduk pelan-pelan), Sampel disaring dengan kertas Whatman No. 41 dan tambahkan aquabides hingga volumenya 10 ml, siap diukur dengan AAS menggunakan nyala udara-asetilen (Hutagalung, 1997).

Pengambilan, Pengawetan, dan Pengukuran Kualitas Air

Prinsip pengambilan dan pengawetan sampel dilakukan dengan 2 cara yaitu secara insitu dan eksitu. Pengambilan sampel air untuk kebutuhan analisis parameter yang bersifat *insitu* (langsung diukur di lapangan) tidak dilakukan pengawetan, meliputi temperatur, pH, dan salinitas sedangkan pengambilan sampel air untuk analisis yang bersifat eksitu (pengamatan di laboratorium) didinginkan dalam *ice box*, meliputi sampel air dan sedimen untuk TSS, COD, dan TOC. Pengukuran parameter pendukung yang meliputi parameter kualitas air, satuan, dan metode pengukuran serta sumber disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengukuran Parameter Pendukung

No	Parameter	Satuan	Metode	Sumber
1.	Temperatur	$^{\circ}\text{C}$	Pemuaian	APHA (2005)
2.	Salinitas	‰	Konduktivimetri	APHA (2005)
3.	O_2 Terlarut	mg/L	Winkler	APHA (2005)
4.	COD	mg/L	Bikromat	SNI (2009)
5.	pH	unit	Kolorimetri	APHA (2005)
6.	TOC	%	Kolorimetri	BPT (2005)

Faktor Kontaminasi (*Contamination Factor, CF*)

Faktor kontaminasi memberi gambaran tingkat kontaminasi sedimen oleh logam. CF dihitung berdasarkan rumus berikut (Harikumar and Jisha, 2010) :

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

$C(\text{heavy metal})$ adalah konsentrasi logam yang terukur pada sedimen, sedangkan $C(\text{background})$ adalah konsentrasi logam *background*, yaitu konsentrasi logam yang secara alami ada dalam kerak bumi (*earth crust*). Konsentrasi Pb dan Cd *background* mengacu pada Luoma and Rainbow (2008), Cr *background* mengacu pada Martin and Meybeck (1979), dan Fe *background* mengacu pada Turekian and Wedepohl (1961).

Interpretasi nilai CF mengacu pada Muller (1969), yaitu nilai CF 0 = *none*, 1 = *none to medium*, 2 = *moderate*, 3 = *moderately to strong*, 4 = *strongly polluted*, 5 = *strong to very strong*, dan > 6 = *very strong*.

Faktor Pengayaan (*Enrichment Factors, EF*)

Analisis EF digunakan untuk mendeteksi sumber bahan pencemar, apakah dari aktivitas antropogenik atau alamiah. EF juga bisa menunjukkan tingkat pengaruh / input antropogenik. Metode EF akan menormalisasi data hasil pengukuran konsentrasi logam berat pada sedimen dengan *reference samples*. Pada studi ini, normalisasi data logam dilakukan dengan menggunakan iron (Fe) sebagai elemen konservatif, mengacu pada Mediolla *et al.* (2008). Faktor Pengayaan (EF) dihitung berdasarkan rumus berikut :

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

Keterangan :

C(n) : konsentrasi logam sampel terukur

C(s) : konsentrasi reference sample terukur

B(n) : konsentrasi logam background (*earth crust*)

B(ref) : 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*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan Logam pada Air

Hasil pengukuran kandungan logam Pb, Cd dan Cr pada air di tiap stasiun tersaji pada Gambar 3. Rata-rata kandungan logam Pb dalam air yang terdapat di semua stasiun telah melebihi nilai ambang batas yang ditetapkan oleh KMNLH No. 51 tahun 2004 tentang batas maksimal cemaran logam Pb dalam air yaitu sebesar 0,008 mg/L (Tabel 3). Demikian pula untuk logam Cd dan Cr, dengan rata-rata kandungan logam berat berturut-turut 0.024 mg/kg dan 0.026 mg/kg. mengacu pada KMNLH No. 51 tahun 2004 maka konsentrasi Cd maupun Cr pada air tersebut sudah berada di atas baku mutu konsentrasi yang layak bagi biota air, yaitu sebesar ≤ 0.001 mg/L untuk Cd dan 0.005 mg/L untuk Cr. Hal ini menunjukkan bahwa Perairan Segara Anakan Cilacap sudah tercemar dan tidak sesuai untuk kehidupan organisme perairan.

Penelitian mengenai kandungan logam berat Pb pada air di perairan Segara Anakan Cilacap sebelumnya telah dilakukan oleh Jumhan *et al.* (2008), dengan kandungan logam berat Pb di air berkisar 0.0021 - 0.0338 mg/L khususnya di sekitar Sungai Donan Segara Anakan Cilacap. Selanjutnya pada tahun 2010, hasil penelitian Suryanti (2010), menunjukkan kandungan logam berat Pb pada air 0.020 - 0.333 mg/L. Pada penelitian ini, diperoleh hasil kandungan logam berat Pb pada air berkisar antara 0.12 – 0.24 mg/L. Hal ini menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan kandungan logam berat pada air dari tahun ke tahun. Hal yang sama terjadi pada logam Cd maupun Cr. Hasil penelitian Jumhan *et al.* (2008) di lokasi yang sama, kandungan Cd pada air berkisar antara 0,004-0,050 mg/L Peningkatan kandungan logam berat di perairan Segara Anakan diduga disebabkan semakin meningkatnya jumlah penduduk, kegiatan-kegiatan industri, dan pelayaran baik domestik maupun non domestik di daerah Perairan Plawangan Timur Segara Anakan Cilacap.

Tabel 3. Ambang baku mutu logam berat Pb, Cd, dan Cr pada media air

Jenis Sampel	NAB (mg/L)	Sumber
Pb	0,008	KMNLH No. 51 (2004)
Cd	0.001	KMNLH No. 51 (2004)
Cr	0.005	KMNLH No. 51 (2004)

Tabel 4. Kandungan Logam Pb, Cd, Cr pada sedimen Segara Anakan Cilacap dan Standar Baku Mutu Logam pada Sedimen (mg/kg)

	Stasiun	Pb	Cd	Cr
Sedimen Segara Anakan	1.	3.959	0.760	6.129
	2.	5.269	2.205	12.446
	3.	4.608	1.484	8.058
	4.	19.241	0.593	13.438
	5.	21.994	0.432	15.065
	6.	9.073	1.632	14.776
	Rerata	10.691	1.184	11.652
CCME	TELS ¹	30.2	0.7	-
	PELs ²	112	4.2	90
ANZECC Guidelines	Low	50	1.5	-
	High	220	10	-
US NOAA's	TELS	30.24	0.68	52.3
	ERL ³	46.7	1.2	81
	PELs	112	4.21	160
	ERM ⁴	218	9.6	370

Keterangan:

¹ *Threshold Effect Levels* (TELS)

² *Probable Effect Levels* (PELs)

³ *Effect Range – Low* (ERL)

⁴ *Effect Range – Median* (ERM)

Kandungan Logam pada Sedimen

Kehadiran logam berat, baik dari sumber alami ataupun dari sumber antropogenik di sedimen dalam sistem perairan merupakan salah satu masalah lingkungan yang paling penting terutama karena sedimen ini merupakan reservoir penting dari unsur-unsur dan polusi zat lainnya (Ridgway dan Shimmield, 2002). Logam berat dalam perairan dapat teradsorpsi ke sedimen dengan cepat sehingga terjadi kontaminasi yang mempengaruhi ekosistem di perairan estuarin (Liu *et al.*, 2011).

Secara keseluruhan, kandungan logam Pb, Cd dan Cr pada sedimen di tiap stasiun lebih tinggi konsentrasinya dibandingkan dengan konsentrasinya di air (Tabel 4). Kondisi ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Tarigan dan Edward (2003), bahwa logam berat dapat

terakumulasi dalam sedimen, sehingga kandungan logam berat dalam sedimen selalu lebih tinggi daripada dalam air. Hal ini terkait dengan sifat logam berat yang cenderung membentuk kompleks, kemudian mengendap dan terikat dalam sedimen. Partikel butir halus dalam sedimen bertindak sebagai pembawa logam berat dari air ke sedimen sehingga konsentrasi logam berat dalam sedimen meningkat (Chauba *et al.*, 2007). Menurut Alloway (1990), bentuk logam berat yang terikat dalam sedimen akan relatif lebih stabil dibandingkan dalam bentuk ion-ion yang terlarut dalam air. Saeed & Shaker (2008), juga menyebutkan bahwa akumulasi logam berat di sedimen lebih tinggi dibandingkan di air, karena sedimen bertindak sebagai tempat penampungan terakhir untuk semua kontaminan dan bahan organik yang akan turun dari ekosistem di atasnya.

Tabel 5. Contamination factor (CF) dan enrichment factor (EF) sedimen segara anakan, Cilacap

Stasiun	CF			EF		
	Pb	Cd	Cr	Pb	Cd	Cr
1.	0.32	6.9	1.7	0.55	12.09	3.01
2.	0.42	20.0	3.5	0.74	35.07	6.12
3.	0.37	13.5	2.3	0.64	23.60	3.96
4.	1.54	5.4	3.8	2.69	9.43	6.60
5.	1.76	3.9	4.2	3.08	6.87	7.40
6.	0.73	14.8	4.2	1.27	25.96	7.26
Rerata	0.86	10.8	3.3	1.50	18.8	5.7

Tabel 6. Faktor fisika dan kimia di perairan Plawangan Timur Segara Anakan, Cilacap

No	Parameter	Satuan	Stasiun					
			1	2	3	4	5	6
1	Temperatur	°C	31	31	31	30	35	31
2	Salinitas	‰	16	18	19	22	24	28
3	Oksigen Terlarut	mg/L	7,1	6,3	5,8	5,7	5,1	5,6
4	COD	mg/L	82.61	109.9	89.80	98.4	119.20	109.3
5	pH	Unit	7	8	8	8	8	8
6	TOC	%	4.323	9.068	4.939	6.295	10.636	9.675

Kandungan logam Pb, Cd, dan Cr pada sedimen berturut-turut berkisar antara 3.96-21.99, 0.43-2.20, dan 6.13 – 15.07 mg/kg (Tabel 4). Berdasarkan standar baku mutu CCME, secara umum kandungan logam Pb dan Cr masih berada dalam konsentrasi aman (TELS < 30,2 mg/kg untuk Pb), sedangkan untuk logam Cd sudah ada di atas kisaran ambang aman, tapi masih di bawah ambang konsentrasi yang berpotensi menimbulkan efek bagi biota perairan, ditunjukkan oleh nilai TELs (TELS < 0.7 mg/kg) dan PELs (PELs < 4.2 mg/kg untuk Cd).

Demikian pula jika mengacu pada standar NOAA's, maka konsentrasi Pb dan Cr masih ada pada konsentrasi yang aman (TELS < 30.24 mg/Kg untuk Pb, dan 52.3 mg/kg untuk Cr). Sedangkan untuk Cd sudah mampu menimbulkan efek bagi biota, tapi masih dalam tingkatan low (ERLs 1.2 mg/kg). ERL adalah konsentrasi logam di sedimen yang berasosiasi dengan 10% (*rarely seen*) dampak biologis yang timbul pada biota.

ANZECC Guidelines memberikan kriteria yang hampir sama, dimana untuk logam Pb dan Cr masih dalam konsentrasi aman, tapi untuk Cd di sebagian stasiun (2,3, dan 6) sudah dalam kisaran konsentrasi yang berpotensi menimbulkan efek bagi biota perairan (*low*). Yu (2001), menyatakan bahwa adanya variasi kandungan logam berat dalam perairan disebabkan oleh tingkat konsentrasi dari limbah, serta pengaruh pengikatan logam berat oleh partikel-partikel dalam air.

Tingginya nilai Cd pada stasiun 2 (Hilir Sungai Sapuregel) dan stasiun 3 (Hilir Sungai Kembang Kuning) ini diduga disebabkan oleh masuknya sejumlah besar limbah pertanian dan limbah dari kawasan pemukiman, mengingat bahwa hulu ke-2 sungai ini merupakan kawasan pemukiman dan pertanian. Kondisi yang serupa juga terdapat pada stasiun 6 (Kebon sayur).

Tingginya kandungan logam berat pada stasiun 2 dan 6 juga didukung oleh sifat fisik kimia air, yaitu COD serta kandungan *Total Organic Carbon* (TOC) pada ke-2 stasiun yang nilainya relatif lebih

tinggi. Perairan di stasiun 2 dan 6 memiliki rata-rata COD sebesar 109,9 dan 109,3 mg/L dan rata-rata TOC sebesar 9,068 % dan 9,675 % (Tabel 6). Tingginya polutan yang masuk ke perairan berakibat tingginya kandungan bahan organik sehingga pembentukan dengan senyawa kompleks yang mengendap di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen juga semakin tinggi. Hal ini didukung dengan pernyataan Ololade (2009), bahwa tingkat kandungan logam berat terkait dengan oksidasi bahan organik yang tinggi. Sesuai teori gravitasi, apabila partikulat memiliki massa jenis lebih besar dari massa jenis air maka partikulat akan mengendap di dasar perairan dan terjadi proses sedimentasi.

Contamination Factor (CF) dan Enrichment Factor (EF)

Dalam penilaian tingkat kontaminasi logam berat pada sedimen, penting diketahui *natural levels* dari logam-logam tersebut. Terlepas dari kontribusi alami, logam berat dapat masuk ke dalam sistem perairan dari sumber antropogenik seperti limbah padat dan cair industri, atau dapat pula berasal dari emisi industri di atmosfer.

Konsentrasi logam berat dalam sedimen di Perairan Segara Anakan dinormalisasi menggunakan Fe sebagai elemen konservatif untuk mengevaluasi sumber antropogenik dari logam, dengan pertimbangan occurrence variability -nya yang rendah

Rerata nilai *Contamination Factor* (CF) untuk Pb, Cd, dan Cr berurutan sebesar 0.86, 10.8, dan 3.3, menunjukkan tidak ada kontaminasi untuk logam Pb, kontaminasi yang sangat kuat untuk Cd, dan kontaminasi moderat untuk Cr.

Enrichment Factor (EF, Faktor pengayaan), yang merupakan indeks kontaminasi sampel sedimen, menunjukkan hampir tidak ada input antropogenik untuk logam Pb, sedangkan Cd ada pengaruh input antropogenik dengan tingkat pengayaan tinggi, dan Cr ada pengaruh input antropogenik dengan tingkat pengayaan cukup, ditunjukkan dengan nilai EF Pb, Cd, dan Cr berturut-turut sebesar 1.50, 18.8, dan 5.7. Semakin tinggi nilai EF maka berarti kontribusi origin antropogenik semakin tinggi pula.

Meskipun secara umum tidak ada kontaminasi dan input antropogenik untuk logam Pb, namun di stasiun 4 (Kutawaru) dan 5 (Sungai Donan) sudah terindikasi adanya kontaminasi tingkat rendah dan

input antropogenik sampai tingkat sedang. Ke-2 stasiun ini merupakan lokasi yang paling berdekatan dengan aktivitas bongkar muat kapal dan industri pengolahan minyak bumi, yang merupakan sumber Pb paling potensial. Santos *et al.* (2005) menyatakan bahwa sumber antropogenik logam yang utama adalah industri, kontaminasi minyak dan pembuangan limbah.

DAFTAR PUSTAKA

- APHA (American Public Health Association). 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*. 21th Edition. APHA.AWWA.WPOF, Washington DC.10900 hal.
- 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, Australian and New Zealand Environment and Conservation Council. Canberra.
- Alloway, B. J. 1990. *Heavy Metal in Soil*. John Wiley & Sons Inc., New York. 339 hal.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). 1999. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. *In: Canadian Environmental Quality Guidelines*.
- Chouba, L., K. M. Njimi, W., Tissaoui, CH, Thompson and JR, Flower. 2007. Seasonal Variation Of Heavy Metals (Cd, Pb And Hg) In Sediments And In Mullet, *Mugil cephalus* (Mugilidae) from the Ghar El Melh Lagoon. (Tunisia). *Transitional Waters Bulletin*, 4 : 45-52.
- Dolaria, N. 2004. Analisis Logam Berat Merkuri (Hg) dalam Air Laut, Sedimen, dan Biota di Laboratorium. *Buletin Teknik Litkayasa Akuakultur*, 3(1): 39-42.
- Harikumar P.S. and Jisha T.S. (2010) Distribution pattern of trace metal pollutants in the sediments of an urban wetlands in the southwest coast of India, *Int. Jour. Of Eng. Vol.* (5) : 840-850.

- Hutagalung, H.P. 1997. Penentuan kadar logam berat *Dalam: Hutagalung, H.P., D. Setiapermana. & S.H. Riyono (Eds.). Metode Analisis Air Laut. Sedimen dan Biota* Buku 2. Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanografi LIPI. Jakarta.
- Jumhan, A. R. 2006. *Distribusi Logam Berat Pb, Cr, dan Cd Pada Media Air, Sedimen, serta Biota (Scylla serrata Forskal.) di Sungai Donan Segara Anakan Cilacap*. Skripsi. Program Sarjana Perikanan dan Kelautan, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto.124 hal (Tidak dipublikasikan).
- Kementerian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup, Keputusan No. 51/MNKLH/II/2004 *tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Air Laut*, Kementerian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup, Jakarta, 2004.
- Liu,B., K. Hu.,Z. Jiang., J. Yang., X. Luo, and A. Liu. 2011. Distribution And Enrichment Of Heavy Metals In A Sediment Core From The Pearl River Estuary. *Environ Earth Sci.*, 62: 265-275.
- Luoma, S.N. and Rainbow, P.S. 2008. Metal contamination in aquatic environment: science and lateral management, Cambridge, New York, 573pp.
- Marchand C, Lallier-Verges E, Baltzer F, Alberica P, Cossac D, Baillif P, 2006. Heavy metals distribution in mangrove sediments along the mobile coastline of French Guiana. *Marine Chemistry*, 98: 1–17.
- Martin JM, Meybeck M 1979. Elemental mass balance of materials carried by major world rivers. *Mar Chem*, 7: 173-206.
- Mediolla, L. L., Domingues, M. C. D. and Sandoval M. R. G. (2008). Environmental Assessment of and Active Tailings Pile in the State of Mexico (Central Mexico). *Research Journal of Environmental sciences* 2 (3): 197 – 208
- Muller G, 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2: 108–118.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2007. An Assessment of Chemical Contaminants in the Marine Sediments of Southwest Puerto Rico. NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS 52. 116pp.
- Ololade, I.A. 2009. Prediction of Extractable Metals (Cd, Pb, Fe, Cu, Mn and Zn) in Sewage. *African Journal of Agriculture Research*, 4 (11) : 1234-1240.
- Olubunmi FE, Olorunsola OE. 2010. Evaluation of the Status of Heavy Metal Pollution of Sediment of Agbabu Bitumen Deposit Area, Nigeria *European Journal of Scientific Research*, (41) : 373-382.
- Ong, M.C. and Kamaruzzaman, B.Y. 2009. An assessment of metals (Pb and Cu) contamination in bottom sediment from South China Sea Coastal Waters, Malaysia. *American Journal of Applied Sciences*, 6(7): 1418–1423.
- Pekey H, 2006. The distribution and sources of heavy metals in Izmit Bay surface sediments affected by a polluted stream. *Marine Pollution Bulletin*, 52: 1197–1208.
- Ridgway, J. and Shimmield, G. 2002. Estuaries as repositories of historical contamination and their impact on shelf seas, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 55: 903-928.
- Santos, I. R., E. V. Silva-Filho, C. E. Schaefer, M. R. Albuquerque-Filho and L. S. Campos. 2005. Heavy metals contamination in coastal sediments and soils near the Brazilian Antarctic Station, King George Island. *Mar. Poll. Bull.*, 50: 85-194.
- Saeed, SM and Shaker IM. 2008. Assessment of heavy metals pollution in water and sediment and their effect on *Oreochromis niloticus* in the Northern Delta lakes, Egypt. International Symposium on Tilapia in Aquaculture.
- SNI (Standar Nasional Indonesia). 2009. Air dan Air Limbah. Bagian Air Limbah 15: Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (KOK) Refluks Terbuka dengan Terbuka Secara Titrimetri. ICS 13.060.50.

- Sundaray, S. K., B. B. Nayak, S. Lina, and D. Bhatta. 2011. Geochemical speciation and risk assessment of heavy metals in the river estuarine sediments—A case study: Mahanadi basin, India. *Journal of Hazardous Materials* 186 : 1837–1846.
- Suryanti, A. 2010. Bioakumulasi Logam Berat Pb dan Cd serta Reproduksi Kerang Totok (*Polymesoda erosa*) di Segara Anakan Cilacap. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Sutherland, R.A., 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology* 39 (6) : 611-627.
- Tarigan, M. S dan Edward. 2003. Kandungan Total Zat Padat Tersuspensi (*Total Suspended Solid*) di Perairan Raha, Sulawesi Tenggara. *Makara Sains*. 7(3) : 109 – 118.
- Taylor, S.R. 1964. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 28(8):1273-1285.
- Turekian, K. K. , K. H. Wedepohl. Distribution of elements in some major units of the Earth's crust, Geological Society of America, Bulletin 72, 175–192, 1961.