

SEBARAN LOGAM BERAT DALAM SEDIMEN ESTUARI WAKAK-PLUMBON, SEMARANG, JAWA TENGAH

(Distribution of Metal in Sediment at Wakak-Plumbon Estuary, Semarang, Central Java)

Haeruddin¹, Harpasis S. Sanusi², Dedi Soedharma²,
Edy Supriyono³ dan Mennofatria Boer⁴

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengamati penyebaran spasial dan temporal logam dalam sedimen estuari Wakak-Plumbon, Semarang, Jawa Tengah, serta kaitannya dengan berbagai faktor yang mempengaruhi distribusinya dalam sedimen (konsentrasi karbon organik total, redoks potensial sedimen dan ukuran butiran sedimen). Untuk mengamati distribusi spasial logam dalam sedimen, sedimen dikumpulkan dari 9 titik pengamatan, 3 titik masing-masing diambil dari Sungai Plumbon, Wakak dan laut. Pengamatan distribusi temporal dilakukan pada 3 stasiun pengamatan di laut (A, B dan C) terhadap 5 logam dominan. Sedimen dikumpulkan dengan Petersen grab, kemudian dianalisis kandungan logamnya dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom. Hasil penelitian menunjukkan bahwa logam Pb, Cd dan Ni konsentrasinya lebih tinggi ke arah hulu sungai dan memiliki hubungan negatif dengan salinitas, sehingga sumber masukannya diduga berasal dari hulu. Logam Cu, Cr dan Hg lebih tinggi di laut dan memiliki hubungan positif dengan Salinitas, sehingga sumber masukannya diduga berasal dari laut. Logam seng konsentrasinya tinggi di laut dan diduga terjadi secara alami. Selain salinitas, faktor lain yang dominan pengaruhnya terhadap penyebaran logam dalam sedimen estuari Wakak-Plumbon adalah karbon organik total. Konsentrasi logam cenderung lebih tinggi dengan meningkatnya konsentrasi karbon organik total.

Kata kunci: penyebaran spasial dan temporal, logam, sedimen dan estuaria Wakak-Plumbon.

ABSTRACT

This research was conducted to observe the spatial and temporal distribution of metal in sediment at Wakak-Plumbon estuary, Semarang, Central Java, as well as to identify factors affecting metal distribution in sediment (i.e. concentration of total organic carbon, potential redox and particle size). Spatial distribution of metals in sediments were derived from 9 stations, of which each sample was taken from 3 stations at Plumbon and Wakak Rivers and coastal waters respectively. Observation on temporal distribution of metals was conducted in the 3 stations in coastal waters (A, B and C) on 5 dominating metals. Sediments collected by Petersen Grab, and in the following of sample preparation, the metal contents in the sediment was analyzed by AAS. The results showed that Pb, Cd and Ni tend to increase in the upper region of rivers and these metals have negative correlation with salinity suggesting the upper region as their original source. Cu, Cr and Hg are highest in the coastal waters than in the river waters and they have positive correlation with salinity, and accordingly, we estimated that their sources are derived from coastal waters. The high concentration of Zn in the coastal water is suggested due to natural process. Besides salinity, total organic carbon is one of the dominant factor affecting metal distribution in sediments at estuary Wakak-Plumbon. There was a tendency that the higher the metals concentration the higher the total organic carbon.

Key words: spatial and temporal distribution, metal, sediment and Wakak-Plumbon estuary.

PENDAHULUAN

Logam merupakan salah satu jenis polutan yang sering terdeteksi dalam sedimen, di-

samping polutan lainnya. Jenis logam yang sering terdeteksi dalam sedimen antara lain: besi, mangan, timbal, kadmium, seng dan merkuri (USEPA, 2004). Konsentrasi timbal dalam sedimen di perairan pesisir Jakarta diperkirakan telah mendekati 120 mg/kg, Surabaya sekitar 60-70 mg/kg, Pekanbaru sekitar 50-60 mg/kg dan Semarang sekitar 30 mg/kg. Sementara konsentrasi logam Kadmium (Cd) dalam sedimen tertinggi di Semarang (lebih dari 5 mg/kg), Jakarta (lebih dari 3 mg/kg), Surabaya (lebih dari 2.5 mg/kg) dan Pekanbaru (lebih dari 0.1 mg/kg). Konsentrasi alami logam Pb dan Cd dalam sedimen masing-

¹ Jurusan Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, Semarang.

² Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

³ Departemen Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

⁴ Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

masing adalah sebesar 20 mg/kg dan 0.15 mg/kg (Arifin, 2001).

Konsentrasi logam dalam sedimen biasanya mencapai 3-5 kali lebih tinggi dari konsentrasi logam dalam kolom air di atasnya (Bryan and Langston, 1992). Oleh karena itu identifikasi berbagai jenis logam yang berasal dari berbagai sumber pada kawasan pesisir, dapat diidentifikasi lebih cepat dengan menganalisis sedimen dibanding kuantifikasi konsentrasi logam yang terdapat dalam air (Forster and Wittmann, 1981).

Perairan di sekitar estuaria Wakak-Plumbon merupakan salah satu perairan penerima beban limbah dengan volume cukup besar. Berbagai aktivitas 'penyumbang' limbah yang terdapat di kawasan ini adalah kegiatan industri, pertanian, pemukiman dan pertambakan. Penelitian tim AMDAL Pelabuhan Kendal (2000) menunjukkan bahwa konsentrasi logam seng dalam kolom air pada kawasan ini telah berada di atas baku mutu air laut untuk keperluan budidaya maupun pariwisata laut (SK Men KLH No 02/1988).

Berbagai jenis logam yang masuk ke estuaria melalui sungai terutama terbawa dalam bentuk partikulat. Sebagai contoh kurang lebih 95% besi dan mangan yang terbawa oleh Sungai Yukon dan Amazone berasosiasi dengan bahan berbentuk partikulat (Burton and Liss, 1976). Kebanyakan bahan organik berbentuk partikulat tersebut akan mengendap di permukaan sedimen (Kemp, 1989). Chester (1990) menyatakan bahwa reaktivitas biogeokimia dalam perairan alami diatur oleh sejumlah parameter fisiko-kimia seperti: pH, redoks potensial, salinitas, konsentrasi *complexing ligand*, berbagai jenis nutrisi, komponen organik dan bahan-bahan partikulat. Konsentrasi logam berat pada sedimen, tidak saja ditentukan oleh proses pelapukan batuan, tetapi juga dipengaruhi oleh konsentrasi bahan sedimen, komposisi mineral serta ukuran (partikel) endapan sedimen tersebut (Togwell, 1979). Faktor berpengaruh lainnya adalah status redoks, konsentrasi karbon organik dan tingkat bioturbasi (Meador *et al.*, 1998).

Beragamnya sumber masukan logam ke dalam estuaria Wakak-Plumbon diduga dapat menimbulkan variasi konsentrasi logam dalam sedimen menurut ruang dan waktu, sesuai dengan intensitas dan volume masukan berbagai sum-

ber tersebut. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari distribusi spasial dan temporal logam dalam sedimen estuaria Wakak-Plumbon serta hubungannya dengan beberapa faktor yang mempengaruhi penyebaran logam tersebut, meliputi ukuran butiran sedimen, konsentrasi karbon organik total dan redoks potensial sedimen. Hasil penelitian ini akan memperkaya rona awal lingkungan (*environmental base line*) estuaria Wakak-Plumbon, yang sangat diperlukan guna pengelolaan kawasan estuaria tersebut, disamping data mutu air yang telah banyak dikaji selama ini.

BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada Bulan Mei-September 2004 di Estuari Wakak-Plumbon, Semarang, Jawa Tengah. Penelitian untuk mempelajari distribusi 7 jenis logam, yaitu: raksa (Hg), Kadmium (Cd), timbal (Pb), tembaga (Cu), kromium (Cr), seng (Zn) dan nikel (Ni) menurut ruang (spasial) pada Estuari Wakak-Plumbon yang dilakukan pada 9 stasiun pengambilan contoh sedimen. Pemilihan 7 jenis logam disesuaikan dengan dugaan jenis polutan yang masuk ke dalam perairan estuari. Penelitian untuk mempelajari distribusi menurut waktu (temporal) 5 jenis logam (Pb, Cd, Zn, Cu dan Ni) dilakukan pada awal kemarau (Mei), puncak kemarau (Juli) dan akhir kemarau (September) pada 3 stasiun pengambilan contoh sedimen. Pada setiap stasiun pengambilan contoh dilakukan penarikan contoh sedimen sebanyak 2 kali ulangan. Posisi stasiun ditentukan dengan menggunakan GPS. Sedimen dikoleksi menggunakan *van Veen bottom grab* yang memiliki bukaan mulut di bagian atas. Pengambilan contoh sedimen dilakukan pada perairan yang senantiasa terendam, pada kedalaman 1-1.5 m. Sedimen yang terkumpul dalam *grab* dipindahkan ke kantong plastik Polyethylene 1 kg melalui bukaan mulut bagian atas *grab* menggunakan sekop kecil. Contoh sedimen yang diambil hanya hingga ketebalan 4-5 cm. Contoh sedimen dalam kantong plastik kemudian disimpan dalam kotak pendingin volume 35 l yang telah diberi es batu. Sesampai di laboratorium, sebelum analisis, sedimen dibekukan dalam *freezer*. Semua peralatan yang digunakan dalam penelitian terlebih dahulu dibersihkan dengan HNO₃ 10% dan dibilas dengan air bersih kemudian dengan *acetone* lalu dibilas kembali dengan air bersih (Puget Sound Water Quality Authority, 1995).

Pengukuran peubah yang diamati dilakukan *in situ* dan di laboratorium. Jenis-jenis peubah yang diamati serta peralatan ukur yang digunakan disajikan pada Tabel 1. Untuk mencegah gangguan analisa logam oleh bahan organik, sedimen terlebih dahulu didigesti dengan metode *Nitric Acid (NA)-Hydrochloric Acid (HCA) digestion*, kecuali untuk Pb (APHA, AWWA dan WPCF Part 3030E, 1989). Pb didigesti dengan metode *NA digestion*. Guna melihat hubungan antara konsentrasi logam dalam sedimen dengan berbagai peubah yang mempengaruhi distribusinya, dilakukan analisis regresi-korelasi.

Tabel 1. Jenis Peubah yang Diamati serta Alat/Metode yang Digunakan.

Peubah	Metode	Alat
Pengukuran <i>in situ</i>		
Salinitas air jebakan sedimen	Refraktometrik	Atago Hand Refractometer
Temperatur sedimen	Potensiometrik Pemuai	Termometer digital
pH air jebakan sedimen	Potensiometrik	pH meter digital
Kecerahan air		Secchi disc
Pengukuran di laboratorium		
Kandungan logam ¹	Spektrofotometrik	Spektrofotometer serapan Atom
Tekstur sedimen	Penyaringan	Saringan bertingkat
pH sedimen	potensiometrik	pH meter digital
Redoks potensial	Potensiometrik	Eh-meter digital
Karbon organik total ²	Spektrofotometrik	Spektrofotometer serapan Atom

Sumber: ¹ APHA, AWWA and WPCF (1989) Part 3000

² APHA, AWWA and WPCF (1989) Part 5310.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari 7 jenis logam yang diamati pada penelitian Bulan Mei, seng (Zn) merupakan logam yang paling tinggi konsentrasinya di dalam sedimen dan tertinggi di stasiun A (4.060 ± 3.083 mg/kg berat kering), sedang Hg terendah dan tertinggi di Stasiun D (0.585 ± 0.064 µg/kg berat kering). Konsentrasi seng yang tinggi di Stasiun A diduga berkaitan erat dengan sifat logam seng dan konsentrasi alami logam seng dalam sedimen di sekitar Estuari Wakak-Plumbon yang memang lebih tinggi dibanding jenis logam lainnya. Mance dan Yates (1984) menyatakan bahwa seng merupakan salah satu jenis logam berat yang banyak ditemukan dimana-mana. Hasil studi PPLH UNDIP (1999) menunjukkan bahwa

dalam sedimen Sungai Blorong (sebelah barat estuari) berkisar 36-40 mg/kg berat kering, sedang di dalam sedimen Sungai Beringin (sebelah timur estuari) mencapai 32 mg/kg berat kering (Tabel 2 dan Tabel 3).

Di dalam perairan alami seng dibawa dalam bentuk terlarut atau berasosiasi dengan partikel tersuspensi. Dalam air sungai, seng terutama dalam bentuk terlarut, namun di estuari dimana konsentrasi partikel-partikel tersuspensi tinggi, sebagian besar seng diadsorpsi oleh partikel tersuspensi (CCREM, 1987). Pada saat turbiditas maksimum, seng berasosiasi dengan partikel tersuspensi dan mengendap bersama dengan partikel-partikel yang menggumpal (*flocculated partikel*) terutama pada sedimen anaerobik. Pengendapan sedimen lebih banyak terjadi di stasiun A, yang terletak di muara Sungai Kerikan dan mengalami hambatan transpor sedimen ke arah timur, oleh bangunan dan tanah milik PT KLI yang menjorok ke laut.

Uji regresi-korelasi yang dilakukan menunjukkan bahwa distribusi seng dalam sedimen hanya sedikit dipengaruhi oleh redoks potensial dan konsentrasi karbon organik total. Hal mana menandakan bahwa seng dalam konsentrasi tinggi dalam sedimen memang bersifat alami, sebagaimana terjadi pada sungai-sungai yang terdapat di sekitar estuari Wakak-Plumbon.

Konsentrasi logam lainnya yang juga tinggi di stasiun A adalah tembaga (Cu), kromium (Cr) dan raksa (Hg). Analisis regresi yang dilakukan menunjukkan hubungan searah antara jenis-jenis logam ini dengan salinitas air jebakan sedimen, yang berarti semakin tinggi salinitas konsentrasi logam Cu, Cr dan Hg dalam sedimen semakin tinggi. Keadaan ini juga menunjukkan bahwa sumber masukan ketiga jenis logam tersebut ke dalam estuari Wakak-Plumbon berasal dari laut bukan dari hulu sungai, yang kemudian banyak mengendap di sekitar stasiun A, oleh karena terhalang angkutannya ke arah timur oleh bangunan PT KLI yang menjorok ke laut.

Logam Pb, Cd dan Ni mencapai konsentrasi tertinggi di hulu Sungai Plumbon. Konsentrasi logam yang tinggi di hulu menunjukkan bahwa sumber masukan jenis-jenis logam tersebut pada kawasan estuaria ini diduga berasal dari hulu sungai. Hal mana didukung oleh hasil analisis regresi-korelasi yang menunjuk-

kan hubungan berlawanan arah antara konsentrasi berbagai jenis logam tersebut dengan Salinitas. Semakin tinggi salinitas, konsentrasi logam semakin rendah. Beberapa sumber yang mungkin memberikan kontribusi terhadap pe-

ningkatan konsentrasi logam dalam sedimen dari hulu sungai adalah aktivitas industri dan erosi lahan di hulu, yang menyebabkan terlepasnya berbagai jenis logam yang terikat dalam tanah ke dalam air sungai.

Tabel 2. Konsentrasi Logam dalam Sedimen di Estuari Wakak-Plumbon pada Bulan Mei 2004.

Lokasi	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Cr(ppm)	Hg (ppb)
PH	2.700 ± 1.782	1.800 ± 0.509	1.760 ± 1.131	1.440 ± 0.113	0.100 ± 0.028	0.525 ± 0.021	0.400 ± 0.184
PT	0.660 ± 0.877	2.280 ± 0.905	0.720 ± 0.509	1.240 ± 0.396	0.120 ± 0.057	0.580 ± 0.042	0.270 ± 0.014
PM	0.080 ± 0.057	0.960 ± 0.396	0.340 ± 0.311	1.080 ± 0.396	0.040 ± 0.000	0.760 ± 0.071	0.425 ± 0.049
WH	1.300 ± 0.933	1.760 ± 0.962	0.500 ± 0.255	1.120 ± 0.283	0.06 ± 0.028	0.480 ± 0.000	0.260 ± 0.028
WT	0.990 ± 0.156	1.500 ± 0.283	0.765 ± 0.049	0.790 ± 0.014	0.060 ± 0.028	0.550 ± 0.028	0.290 ± 0.000
A	0.540 ± 0.481	4.060 ± 3.083	0.520 ± 0.000	1.080 ± 0.113	0.140 ± 0.085	1.550 ± 0.184	0.575 ± 0.035
B	0.260 ± 0.311	1.280 ± 0.339	0.340 ± 0.198	1.240 ± 0.170	0.140 ± 0.085	1.190 ± 0.014	0.510 ± 0.042
C	0.230 ± 0.099	0.890 ± 0.014	0.280 ± 0.170	0.890 ± 0.297	0.060 ± 0.028	1.090 ± 0.156	0.435 ± 0.064
D	0.280 ± 0.141	0.890 ± 0.297	0.400 ± 0.028	0.890 ± 0.014	0.110 ± 0.014	1.175 ± 0.049	0.585 ± 0.064

Keterangan: P = Plumbon, W = Wakak, L = Laut, H = Hulu, T = Tengah, M = Muara.

Tabel 3. Nilai Berbagai Peubah Berpengaruh Terhadap Penyebaran Logam dalam Sedimen di Estuari Wakak-Plumbon pada Bulan Mei 2004.

Lokasi	pH	Eh (mV)	Fine Sediment (%)	TOC (mg/kg bk)	Salinitas (ppt)	Suhu (°C)	Kecerahan (cm)
PH1	7.88	-77.09	69.69	0.99	0	27	18
PH2	7.60	-59.68	88.59	1.37	0	27	18
PT1	8.58	-120.63	5.22	0.11	10	30	21
PT2	7.90	-78.34	34.82	0.91	10	30	21
PM1	8.54	-118.14	7.59	0.19	20	32	33
PM2	8.59	-121.25	5.22	0.11	20	32	33
WH1	7.88	-77.09	76.61	1.05	0	22	60
WH2	8.36	-106.94	14.25	0.23	0	22	60
WT1	7.94	-80.83	11.06	0.30	13	29.5	58
WT2	7.96	-82.07	14.25	0.30	13	29.5	58
A1	8.01	-85.18	16.41	0.27	30	30	46
A2	8.36	-106.94	11.06	0.23	30	30	46
B1	8.58	-120.63	5.22	0.11	35	30	55
B2	8.41	-110.05	8.19	0.23	35	30	55
C1	8.43	-111.30	10.09	0.23	32	30	35
C2	8.02	-85.80	15.76	0.27	32	30	35
D1	8.56	-119.38	6.61	0.19	31	32	30
D2	8.43	-111.38	8.19	0.23	31	32	30

Keterangan: P = Plumbon, W = Wakak, L = Laut, H = Hulu, T = Tengah, M = Muara

Berbagai konsentrasi logam yang diamati masih dalam batas-batas konsentrasi normal/alami (Zarba, 1989; Laws, 1993; Arifin, 2001), Konsentrasi alami untuk logam dalam sedimen menurut US-EPA (Zarba, 1989) sebagai berikut: Pb (132 ppm), Zn (760 ppm), Ni (20 ppm), Cd (31 ppm) dan Cu (136 ppm). Namun menurut kriteria EVS (1996), konsentrasi kadmium yang terdeteksi di hulu sungai Plumbon tergolong tercemar sedang (konsentrasi berkisar 1.5-

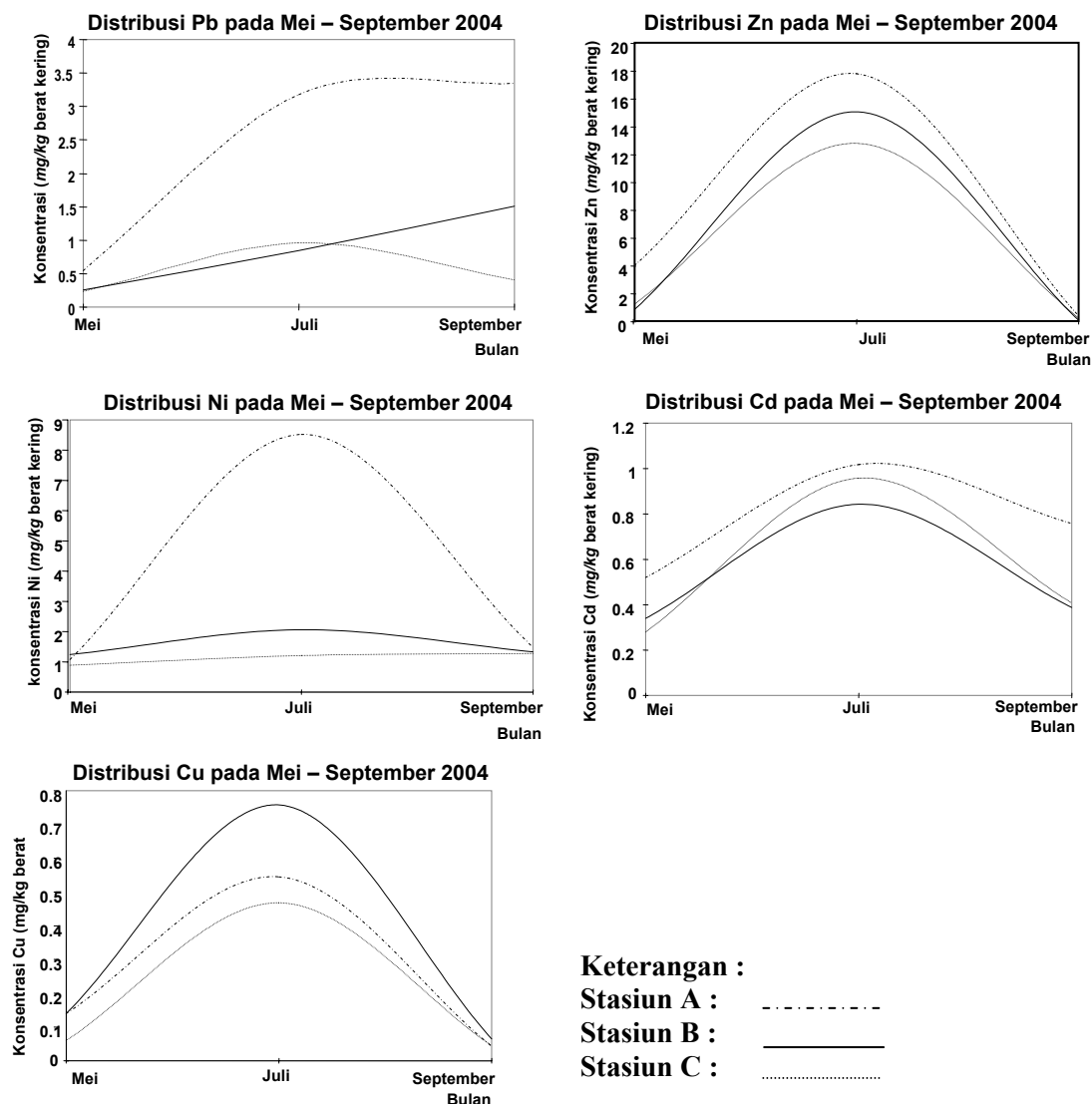
9.6 mg/kg). EVS (1996) mengklasifikasi bahan kerukan yang dapat dibuang di laut atas: (1) kelas 1: tidak terkontaminasi, dengan konsentrasi logam < ISQV rendah; Kelas 2: terkontaminasi sedang, dengan konsentrasi logam antara ISQV rendah sampai ISQV tinggi; dan kelas 3: sangat terkontaminasi, dengan konsentrasi logam > ISQV tinggi. Nilai ISQV selengkapnya untuk berbagai jenis logam disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai ISQV Berbagai Jenis Logam Menurut Usulan EVS (1996).

Jenis logam	ISQV rendah	ISQV tinggi
	(mg/kg berat kering)	(mg/kg berat kering)
Kadmium (Cd)	1.5	9.6
Kromium (Cr)	80	370
Tembaga (Cu)	65	270
Raksa (Hg)	0.28	1
Nikel (Ni)	40	Tidak diatur
Timbal (Pb)	75	218
Perak (Ag)	1.0	3.7
Seng (Zn)	200	410

Sumber: EVS environment consultants (1996)

Konsentrasi logam umumnya lebih tinggi pada Puncak Kemarau (Juli) dibanding Awal Kemarau (Mei) dan Akhir Kemarau (September), kecuali untuk Pb stasiun B yang cenderung meningkat (Gambar 1). Hal ini diduga akibat menurunnya debit sungai yang dapat menurunkan kemampuan *flushing estuary*, sehingga konsentrasi logam cenderung lebih pekat. Disamping itu melambatnya aliran sungai pada puncak kemarau diduga menyebabkan pengendapan bahan-bahan berbentuk partikel dekat pantai menjadi lebih cepat, termasuk bahan-bahan partikel yang mengikat logam, sehingga konsentrasi logam dalam sedimen meningkat.

**Gambar 1. Distribusi Temporal Logam dalam Sedimen pada Kawasan Estuari Wakak-Plumbon.**

Analisis regresi-korelasi yang dilakukan untuk melihat pola dan keeratan hubungan anta-

ra konsentrasi berbagai jenis logam berat dalam sedimen dengan berbagai faktor yang mempe-

ngaruhi sebarannya dalam sedimen, menemukan beberapa masalah, berupa terjadinya tanda berlawanan arah antara koefisien persamaan regresi dengan koefisien korelasi pada berbagai peubah yang diamati. Oleh karena itu peubah dengan tanda koefisien berbeda antara persamaan regresi dan korelasi diabaikan, sehingga persamaan regresi untuk berbagai jenis logam yang diamati menjadi: Pb (ppm) = $6.90 - 0.816 X_1 - 0.0029X_2 + 0.0079X_4 + 1.14X_5$ ($R^2 = 0.85$); Cd (ppm) = $2.51 - 0.261X_1 - 0.00349X_2 + 0.793X_5$ ($R^2 = 0.55$); Hg (ppb) = $0.395 + 0.00823X_2 + 0.00137X_3$ ($R^2 = 0.55$); dan Cr = $0.65 - 0.042X_1 + 0.0275X_2 + 0.125X_5$ ($R^2 = 0.77$). Sedangkan untuk logam lainnya R^2 yang diperoleh dibawah 50%. Keterangan untuk simbol berbagai peubah yang digunakan adalah X_1 untuk pH sedimen, X_2 untuk salinitas air jebakan sedimen (ppt), X_3 untuk redoks potensial sedimen (mV), X_4 untuk prosentase *fine* sedimen (%) dan X_5 untuk konsentrasi karbon organik total sedimen (mg/kg berat kering).

Berbagai persamaan regresi diatas menunjukkan bahwa keberadaan logam dalam sedimen lebih banyak ditentukan oleh konsentrasi karbon organik total (X_5) dibanding peubah lainnya. Semakin tinggi konsentrasi karbon sedimen total dalam sedimen, konsentrasi logam dan elemen lainnya semakin tinggi. Hanya logam Hg yang keberadaannya tidak berkaitan dengan karbon organik total. Hal ini diduga berkaitan dengan konsentrasi Hg yang sangat rendah di dalam kolom air, sehingga yang terikat oleh sedimen melalui mekanisme kompleksasi dengan karbon organik sangat kecil.

Togwell (1979) menyatakan bahwa konsentrasi logam berat pada sedimen, tidak saja ditentukan oleh proses pelapukan batuan, tetapi juga dipengaruhi oleh konsentrasi bahan sedimen, komposisi mineral serta ukuran (partikel) endapan sedimen tersebut. Sementara Meador *et al.* (1998) menyatakan bahwa distribusi dan konsentrasi elemen dalam sedimen dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya: tekstur sedimen, konsentrasi karbon organik dalam sedimen, redoks potensial sedimen dan bioturbasi. Bahan organik di sedimen, terutama dalam bentuk karbon organik, akan lebih memungkinkan terbentuknya ikatan-ikatan antara karbon organik dengan logam. Karbon mampu melakukan ikatan dengan sedimen dalam bentuk ikatan kompleks (*complexation*), sehingga semakin tinggi konsentrasi karbon organik dalam sedimen, ke-

mungkinan akan semakin tinggi konsentrasi polutan yang terdapat dalam sedimen.

KESIMPULAN

Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa logam Pb, Cd dan Ni konsentrasinya lebih tinggi ke arah hulu sungai dan memiliki hubungan negatif dengan salinitas, sehingga sumber masukannya diduga berasal dari hulu. Logam Cu, Cr dan Hg lebih tinggi di laut dan memiliki hubungan positif dengan salinitas, sehingga sumber masukannya diduga berasal dari laut. Logam Zn lebih tinggi di laut dan diduga terjadi sebagai akibat proses alami. Selain Salinitas faktor lain yang dominan pengaruhnya terhadap penyebaran logam dalam sedimen estuari Wakak-Plumbon adalah karbon organik total. Konsentrasi logam cenderung lebih tinggi dengan meningkatnya konsentrasi karbon organik total.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada segenap pihak yang telah membantu penerbitan tulisan ini, terutama kepada Kepala Laboratorium Tanah, Fakultas Pertanian – IPB beserta staf, yang telah menyediakan fasilitas untuk analisis logam, segenap mahasiswa MSP-FPIK UNDIP angkatan 2000 yang telah membantu pengambilan contoh di lapangan serta segenap tim penyunting Jurnal Ilmu-ilmu Perairan dan Perikanan, Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB atas saran dan perbaikan makalah ini.

PUSTAKA

- Arifin, Z. 2001. **Heavy metal pollution in sediments of coastal waters of Indonesia.** in Proceeding 5th IOC/ WESTPAC International Scientific Symposium: 27-31 August 2001, Seoul, South Korea.
- APHA, AWWA and WPCF. 1989. **Standard methods for the examination of water and waste water.** American Public Health Association, Washington DC.
- Bryan, G. W. and W. J. Langston. 1992. **Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom estuaries : a review.** Environ. Pollut. (76): 89-131.
- Burton, J. D. and P. S. Liss. 1976. **Estuarine chemistry.** Academic Press Inc. Ltd. London, England.
- CCREM (Canadian Council of Resource and Environmental Ministers). 1987. **Canadian Water Quality Guidelines.** Inland Waters Directorate, Environmental Canada, Ottawa.

- Chester, R. 1990. **Marine geochemistry**. Unwin Hyman, London, England
- EVS. 1996. **Classification of dredged material for marine disposal**. EVS environment Consultants, British Columbia, Canada
- Forstner, U. and G. T. W. Wittmann. 1981. **Metal pollution in the aquatic environment**. 2nd edition. Springer, Berlin, Germany.
- Kemp, W. M. 1989. **Estuarine Chemistry**. In Day, J. W., C. A. S. Hall, W. M. Kemp and A. Yanez-Arancibia (eds): **estuarine ecology, section II: physycal considerations**. John Wiley and Sons, New York, USA
- Laws, E. A. 1993. **Aquatic pollution**. 2nd edition. John Wiley and Sons Inc., New York
- Mance, G. and J. Yates. 1984. **Proposed Environmental Quality Standards for list II substances in water – Zinc**. Technical Report TR 209, WRc, Medmenham.
- Meador, J. P., P. A. Robisch, R. C. Clark and D. W. Ernest. 1998. **Element in fish and sediment from the Pacific Coast of the United States: result from the national benthic surveillance project**. Marine Poll. Bull. Vol. 37 (1-2): 56-66.
- Puget Sound Water Quality Authority. 1995. **Recomended guidelines for conducting laboratory bioassay on Puget Sound sediments**.
- PPLH UNDIP (Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Universitas Diponegoro). 1999. **Laporan Akhir ANDAL Pengendalian Banjir Semarang**. Proyek Pengendalian Banjir Semarang.
- Togwell, A. J. 1979. **Source of heavy metals contamination in a river-lake system**. Environ.Poll. England (18) : 131 – 138
- USEPA. 2004. **Major contaminants of sediments**. [http: www.epa.gov/watersciences/ cs](http://www.epa.gov/watersciences/cs) dikunjungi pada Tanggal 16 Mei 2004 pukul 06.15 WIB.
- Zarba C. 1989. **National perspective on sediment quality in** Commitee on contaminated marine sediment (eds). Contaminated marine sediments, assesment and remediation. Marine board commision on engineering and technical system, National Research Council, National Academy Press, Washington DC.