

Fraksinasi Logam Berat Pb, Cd, Cu dan Zn dalam Sedimen dan Bioavailabilitasnya bagi Biota di Perairan Teluk Jakarta

Zainal Arifin^{1*} dan Diani Fadhlina²

¹ Pusat Penelitian Oseanografi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (P2O-LIPI).
Jl Pasir Putih I, No. 1, Jakarta 14430, telp : 021-64713850, fax : 021-64711948,
email: zain003@lipi.go.id

² Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan.
Institut Pertanian Bogor. Kampus IPB Dramaga. Bogor 16680

Abstrak

Kajian geokimia logam berat Pb, Cd, Cu dan Zn dalam sedimen telah dilakukan di Teluk Jakarta. Metoda Sequential Extraction Technique (SET) digunakan penelitian ini dengan membagi geokimia logam dalam sedimen menjadi dua komponen yaitu resistant dan non-resistant. Komponen non-resistant tersusun atas fraksi EFLE (easily, freely leachable dan exchangeable), acid reducible dan oxidisable organic; sedangkan komponen resistant merupakan fraksi sedimen yang tidak labil. Pengambilan sampel sedimen dilakukan di 14 stasiun di bagian barat dan tengah Teluk Jakarta, pada bulan Agustus 2007. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kisaran konsentrasi rata-rata logam Pb, Cd, Cu dan Zn dalam sedimen masing-masing 7,74–14,09; 0,044–0,076 ; 13,29–38,77 dan 795,24–1200,62 $\mu\text{g g}^{-1}$. Keempat logam tersebut umumnya dalam fraksi non-resistant dengan fraksi oxidisable organic sebagai fraksi dominan pada logam Pb (8.55 - 93.77 %), Cu (60.69 - 95.85 %) dan Zn (25.03 - 73.91 %), sedangkan fraksi acid reducible merupakan fraksi yang dominan pada logam Cd (40.68 - 70.68 %). Persentase yang tinggi dalam komponen non-resistant menggambarkan bahwa keempat logam tersebut sebagian besar berasal dari kegiatan manusia (antropogenik) dan memiliki potensi terserap oleh biota bentik.

Kata kunci: Teluk Jakarta, geokimia, logam berat

Abstract

Geochemical study of heavy metals Pb, Cd, Cu and Zn in sediments of Jakarta Bay was conducted. Sequential Extraction Technique (SET) was applied for geochemical metal fractionation in sediments in which it is divided into non-resistant and resistant components. Non-resistant component composed of easily, freely leachable and exchangeable (EFLE) fraction, acid reducible fraction and oxidisable organic fraction; while resistant component was non-labile sediment fraction. Sediment samples were taken at 14 stations in Jakarta Bay in August 2007. The results showed that average metal concentrations in sediments ranged as follows, Pb (7.74 - 14.09 $\mu\text{g g}^{-1}$ dry weight, dw), Cd (0.044 - 0.076 $\mu\text{g g}^{-1}$), Cu (13.29 - 38.77 $\mu\text{g g}^{-1}$) dan Zn (795.24 - 1200.62 $\mu\text{g g}^{-1}$). Most of the metals were in non-resistant fractions in which oxidisable organic fraction was a dominant fraction for Pb (8.55 - 93.77 %), Cu (60.69 - 95.85 %) and Zn (25.03 - 73.91 %). In contrast, acid reducible fraction was a dominant fraction in Cd sediment (40.68 - 70.68 %). High percentages of non-resistant metals in sediment reflect that the source of Pb, Cu, Cd, Zn was from anthropogenic activities and has potential to be accumulated by benthic biota.

Key words: Jakarta Bay, geochemistry, heavy metals

Pendahuluan

Penelitian kondisi lingkungan di Teluk Jakarta telah banyak dilakukan terutama yang berkaitan dengan konsentrasi logam berat terlarut dan logam berat total dalam sedimen (Ningtyas, 2002; Rochyatun & Rozak, 2008). Hasil tinjauan kondisi Teluk Jakarta menunjukkan bahwa tren kandungan logam berat dalam sedimen pada umumnya meningkat dalam 20 tahun terakhir (Arifin, 2008). Peningkatan

konsentrasi logam berat dalam sedimen yang sewaktu-waktu termobilisasi akibat pergerakan arus dan proses *bioturbation* dapat memberikan pengaruh negatif bagi komunitas bentos. Oleh karena itu, pengetahuan tentang fraksinasi geokimia logam-logam berat diperlukan untuk mengetahui potensi ketersediaan logam berat dalam sedimen bagi biota.

Sedimen dapat digunakan sebagai indikator pencemaran karena perannya sebagai 'sink' bagi bahan-bahan pencemar dari daratan.

Kontaminan logam yang telah berada di sedimen akan diserap oleh organisme bentik yang selanjutnya logam tersebut akan ditransfer dari sedimen ke rantai makanan yang lebih tinggi. Namun demikian, ketersediaan secara biologis (bioavailability) logam tersebut bagi organisme bentik tergantung oleh banyak faktor termasuk, karakteristik geokimia sedimen dan fraksinasi logam-logam tersebut diantara komponen-komponen sedimen yang berbeda (Kiratli & Ergin, 1996; Wang *et al.*, 2002).

Pada sedimen yang teroksidasi (*oxic sediments*), tiga komponen sedimen yang sangat penting adalah mangan oksida, besi oksida dan bahan organik (Luoma & Bryan, 1981). Karena ketersediaan logam bagi biota dipengaruhi oleh asosiasinya dengan ketiga komponen tersebut, maka konsentrasi logam total hanya memberikan sedikit informasi tentang potensi interaksi antara lingkungan abiotik dan biotik. Oleh karena itu, pengetahuan tentang spesiasi logam-logam beracun diantara ke tiga komponen utama sedimen sangat bermanfaat dalam memberikan prediksi yang lebih akurat tentang ketersediaan biologis logam.

Riset tentang fraksinasi logam berat dalam sedimen merupakan bidang kajian yang sedang berkembang saat ini sebagai upaya memahami bioavailabilitas kontaminan logam dalam sedimen (Amiard *et al.*, 2007; Nordmyr *et al.*, 2008), namun masih jarang dilakukan di Indonesia. Penelitian ini merupakan salah satu kajian yang dilakukan pada ekosistem pantai di Indonesia. Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Takarina *et al.*, (2004) di pantai utara Jawa Tengah (Semarang) yang analisis logam beratnya dilakukan di Kanada. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis fraksinasi logam berat pada sedimen dari Teluk Jakarta dan mengetahui potensi ketersediaan biologis logam Pb, Cd, Cu dan Zn pada biota bentik.

Materi dan Metode

Stasiun Penelitian: Pengambilan sampel sedimen di Teluk Jakarta dilakukan pada bulan Agustus 2007. Empat belas stasiun ditentukan di bagian barat dan tengah Teluk Jakarta yang mewakili zona A (dekat muara sungai atau dekat garis pantai), zona B berjarak ± 5 km dari garis pantai, dan zona C berjarak ± 10 km dari pantai. Stasiun di zona A terdiri dari stasiun 1, 2, 3, 4, 5, 6 dan 7. Stasiun di zona B terdiri dari stasiun 8, 9, 10, 11 dan 12, sedangkan zona C terdiri dari stasiun 13 dan 14 (Gambar 1). Sedimen laut diambil dengan *Smith-McIntyre grab* dan hanya lapisan permukaan oksik (sedimen dengan kandung oksigen, 2–4 cm) saja yang disimpan dalam botol sampel. Sampel, kemudian disimpan

dalam box dengan pendingin berupa bongkahan es dan dibawa ke laboratorium, dikeringkan pada suhu 60°C selama 24 jam.

Tekstur Sedimen dan Bahan Organik Total (BOT): Parameter penunjang kualitas air seperti suhu air, oksigen terlarut, salinitas dan pH perairan diukur langsung pada saat dilapangan. Dua parameter utama dalam penelitian ini adalah tekstur sedimen dan kandungan bahan organik total (BOT) dalam sedimen. Tekstur sedimen dianalisis berdasarkan metode pengayakan basah (Rahayuningsih, 2007). Pada proses pengerjaan ukuran butir sedimen, perhitungan fraksi lempung (*clay*) menjadi satu dengan lanau (*silt*), sehingga ukuran butir sedimen didapatkan dua fraksi yaitu pasir dan lumpur (lempung + lanau).

Bahan organik total (BOT) diukur dengan metoda *Loss On Ignition* (LOI) yang dilakukan secara bertahap. Pertama, sampel sedimen ± 3 gram berat basah dikeringkan pada suhu 60°C selama 24 jam untuk menghilangkan kadar air. Kemudian, sampel sedimen diabukan pada suhu 500°C selama 4 jam untuk menghilangkan fraksi *volatile* bahan organik. *Volatile solids* adalah bahan organik yang teroksidasi pada pemanasan dengan suhu 500°C, sedangkan *non-volatile solids* adalah fraksi bahan organik yang tertinggal sebagai abu pada suhu tersebut.

Geokimia logam berat: Proses analisis konsentrasi logam berat total dalam sedimen menggunakan metode USEPA 3050B. Pada tahap pengerjaan awal sampel ± 15 gram berat basah sedimen dari lapangan terlebih dahulu dikeringkan (60°C, 24 jam) dan ditumbuk sampai halus. Kemudian, sekitar 5 gram sedimen tersebut ditambahkan pereaksi aquaregia yang terdiri dari HNO₃ (50%), H₂O₂ (30%), dan HCl. Penambahan ini dilakukan secara bertahap dan disertai dengan pemanasan pada suhu 95°C. Selanjutnya sampel di saring dengan kertas saring Whatman 0,45 μ m. Tahap akhir, sampel dianalisis dengan flame-AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*).

Fraksi geokimia logam dalam sedimen dianalisa dengan menggunakan *Sequential Extraction Technique* (SET) berdasarkan hasil modifikasi dari Yap *et al.* (2003). *Sequential Extraction Technique* (SET) adalah suatu metoda yang dapat mengungkapkan nasib (*fate*) dari kontaminan logam yang berada pada kondisi lingkungan yang berbeda dengan membedakan tipe dari ikatan logam. Metoda ini mempelajari fraksinasi geokimia dari logam berat pada materi *solid* dan fase organik di sedimen. Fraksi geokimia pada metode SET adalah *easily, freely, leachable* dan *exchangeable* (EFLE), *acid reducible, oxidisable organic* dan *resistant*.

Penjumlahan secara matematis dari fraksi EFLE, *acid reducible*, dan *oxidisable organic* disebut komponen *non-resistant*. Komponen *non-resistant* berhubungan erat dengan masukan antropogenik, sementara komponen *resistant* berhubungan dengan sumber yang berasal dari proses alam (*natural origins*), yaitu dari pelapukan kristal silikat pada batuan (Badri dan Aston, 1983 in Yap et al., 2003). Komponen *resistant* merupakan fraksi yang tidak labil (*non-labile fraction*) yang hanya dapat didestruksi oleh asam kuat (*aqua-regia*).

Logam berat dalam Perna viridis: Kerang hijau (*Perna viridis*) dengan panjang cangkang (4–6 cm) dikoleksi dari Stasiun 9 (daerah budidaya). Kerang hijau disimpan dalam ice box dan dibawa ke laboratorium. Jaringan kerang hijau didestruksi dengan menggunakan pereaksi HNO₃ dan H₂O₂ (CEM, 1991). Selanjutnya, sampel dianalisis dengan flame-AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*).

Hasil dan Pembahasan

Selama 30 tahun terakhir, konsentrasi logam berat di sedimen Teluk Jakarta meningkat tajam. Berdasarkan data terakhir (Arifin, 2005) menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat pada area berjarak kurang dari 3 km dari pantai relatif lebih tinggi dibanding pada area berjarak 10 km dari pantai. Konsentrasi tertinggi logam Pb, Cd, Cu dan Cr dalam sedimen umumnya ditemukan dekat muara sungai seperti Muara Kamal, Muara Angke, Muara Baru, Tanjung Priok, Cilincing dan Marunda (Rochyatun & Rozak, 2008). Tingginya konsentrasi logam berat di wilayah muara sungai tersebut erat hubungannya dengan aktivitas yang ada di kawasan daratan seperti industri, pelabuhan/perkapalan dan limbah domestik yang terbawa oleh aliran air sungai. Konsentrasi logam berat di pantai juga sangat tergantung pada karakteristik sedimen dan kandungan bahan organik total dalam sedimen.

Fraksi Sedimen dan Bahan Organik Total: Berdasarkan proses fisik, sedimen merupakan variabel penting dalam memahami nasib (*fate*) kontaminan logam dalam sedimen di suatu ekosistem. Fang & Wang (2006) menunjukkan bahwa terdapat korelasi positif yang signifikan antara konsentrasi logam berat dalam sedimen permukaan dengan kandungan lanau (ukuran butiran sedimen). Secara umum sedimen dengan ukuran butiran sangat halus (< 63 mikron) merupakan *sink* (penyerap) kontaminan logam. Oleh karena itu, tipe sedimen dengan fraksi lebih besar (> 63 mikron) umumnya memiliki konsentrasi logam total yang rendah, kecuali

pada ekosistem yang tercemar berat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa persentase butir sedimen di lokasi penelitian hampir didominasi oleh fraksi lumpur, kecuali di lima stasiun yaitu st. 1, 3, 4, 5 dan 9 (Gambar 2). Komponen fraksi lumpur terutama banyak ditemui di zona B dan C sedangkan di zona A komponen pasir terutama di muara sungai Dadap, Muara Angke, dan Cengkareng Drain. Kandungan lumpur yang tinggi di zona B cenderung meningkatkan proses dekomposisi bahan organik dan menyebabkan rendahnya kandungan oksigen terlarut (DO : 3.6 ppm) di dekat dasar (Tabel 1).

Persentase *Loss on Ignition* (% LOI) mewakili persentase banyaknya bahan organik yang berada dalam sedimen. Hampir 80% stasiun memiliki kandungan bahan organik diatas 5%, kecuali Stasiun 1, 5 dan 9 (Gambar 3). Bahan organik total dalam sedimen berkisar antara 6,9 dan 13,3 % untuk zona A, 7,0–13,4% di zona B, dan 8,7–11,9 % di zona C. Stasiun-stasiun dengan kandungan bahan organik tinggi terutama berada di kawasan Muara Karang dan Pelabuhan Tanjung Priok.

Konsentrasi logam berat total dalam sedimen: Konsentrasi logam berat total dalam sedimen disajikan pada Tabel 1. Konsentrasi logam berat total dari tiga zona kajian masing-masing dengan kisaran sebagai berikut: Pb 7,74–14,09 µg g⁻¹, Cd 0,044–0,076 µg g⁻¹, Cu 13,29–38,77 µg g⁻¹, dan Zn 795,24–1200,62 µg g⁻¹. Keempat logam berat tersebut sangat bervariasi tingkat konsentrasinya, dengan tren konsentrasi tertinggi di zona A, kemudian zona B dan zona C. Tren ini tidak berbeda dengan penelitian sebelumnya pada bulan Juni 2003 (Arifin, 2005). Hal ini menunjukkan bahwa dalam lima tahun terakhir input kontaminan logam berat masih cenderung dari darat. Namun demikian tidak ada korelasi signifikan antara logam total Pb, Cu, Cd dan Zn dengan presentase lumpur (%) dalam sedimen ($r = -0,11-0,47$; $p > 0,05$).

Geokimia logam dalam sedimen: Berdasarkan hasil analisa geokimia logam Pb, diketahui fraksi geokimia logam Pb didominasi oleh fraksi *oxidisable organic* (8,55–93,77%) dan *acid reducible* (0,17–25,99%), sedangkan fraksi EFLE relatif kecil (0–8,16%). Fraksi *resistant* dari logam Pb sangat bervariasi dari 92,66 % di Stasiun 2 (Muara Sungai Dadap) dan tidak terdeteksi di Stasiun 11 dan 12 (Gambar 4). Penjumlahan secara matematis fraksi EFLE, *acid reducible* dan *oxidisable organic* disebut sebagai fraksi *non resistant*. Fraksi ini sangat dipengaruhi oleh masukan antropogenik logam daripada sumber alami logam. Secara umum logam Pb di zona B dan C didominasi oleh fraksi *non-*

resistant, sedangkan di zona A komponen fraksi *resistant* masih memiliki kontribusi terhadap tingkat konsentrasi logam total (Gambar 4).

Konsentrasi logam Cd dalam sedimen paling rendah diantara logam yang lain (Pb, Cu dan Zn). Logam Cd dijumpai hampir 90% dalam bentuk terlarut, dan hanya sebagian kecil saja yang teradsorpsi oleh padatan tersuspensi atau partikel (Syahminan, 1996 in Ningtias, 2002). Fraksi geokimia logam Cd didominasi oleh fraksi *acid reducible* (40,68-70,68%), fraksi *oxidisable organic* (20,20-60,03%) dan fraksi EFLE (0-23,77%); sedangkan fraksi *resistant* tidak ditemukan di semua stasiun penelitian (Gambar 5).

Fraksi *acid reducible* Cd yang tinggi menandakan bahwa logam Cd cenderung berasosiasi dengan Fe-Mn oksida. Logam yang berikatan dengan Fe-Mn oksida ini mempunyai mobilitas (perubahan) yang tidak terlalu tinggi dibanding EFLE. Perubahan potensial redoks sedimen akan menyebabkan terlepasnya logam Cd.

Fraksi *acid reducible+oxidisable organic+EFLE* berperan sangat penting dalam menentukan tingkat bioavailabilitas logam Cd bagi biota bentik seperti udang, kepiting dan kerang. Fraksi *resistant* dari Cd yang sangat rendah pada penelitian ini mengindikasikan bahwa konsentrasi Cd dalam sedimen banyak didominasi fraksi *non-resistant*. Hasil penelitian ini sama seperti kajian Thomas & Bendell-Young (1998) di estuari sungai Fraser (Canada) yang menunjukkan bahwa Cd dalam fraksi *reducible* merupakan komponen yang paling tinggi dibanding fraksi lainnya. Oleh karena itu, berdasarkan pertimbangan bahwa hampir sebagian fraksi Cd berada dalam fraksi yang labil, maka sedimen menjadi indikator resiko yang berbahaya bagi biota bentik yang terpapar.

Fraksi geokimia logam Cu (Gambar 6) sama seperti logam Pb didominasi oleh fraksi *oxidisable organic* (60,69-95,85%) dan fraksi *acid reducible* (0,53-13,66%). Fraksi *resistant* relatif rendah dan berkisar antara 0,88 dan 36,88%. Tembaga (Cu) merupakan elemen yang bersifat esensial atau dibutuhkan dalam proses kehidupan biota akuatik. Hasil analisa menunjukkan bahwa komponen logam-logam *non-resistant* lebih tinggi dibanding komponen *resistant* di semua stasiun. Delapan puluh lima persen (85%) logam Cu di zona B dan C berupa komponen *non-resistant*, sedangkan di zona A, komponen *non-resistant* umumnya hanya sekitar 60%. Hal ini mengindikasikan bahwa potensi ketersediaan biologis logam Cu terserap oleh biota bentik sangat tinggi. Fan & Wang (2002) juga menyebutkan bahwa fraksi *reducible dan*

organic merupakan sumber potensial terserapnya logam Cu oleh biota bentik.

Fraksi geokimia logam Zn didominasi oleh fraksi *oxidisable organic* (25,03 - 73,91%), diikuti oleh fraksi *resistant* (9,15-43,90%), *acid reducible* (0,07-45,06%), dan fraksi EFLE (0,21-22,78%). Hampir semua stasiun menunjukkan bahwa fraksi geokimia Zn didominasi oleh fraksi *non-resistant* (Gambar 7). Seng (Zn) biasanya membentuk ikatan kompleks dengan ligan organik seperti asam humus. Namun demikian uji korelasi antara fraksi *non-resistant* logam Zn dalam sedimen dan kandungan bahan organik total (%) menunjukkan korelasi positif yang lemah dan tidak signifikan ($r = 0.16, p > 0.05$). Hal ini menandakan bahwa keberadaan fraksi *non-resistant* Zn dalam sedimen ditentukan oleh faktor lain selain kandungan bahan organik ataupun prosentase fraksi lumpur. Sanusi (2006) menyatakan bahwa pembentukan ikatan kompleks dan adsorpsi Zn oleh padatan tersuspensi sangat bergantung pada karakteristik fisik dan kimia perairan; maka faktor kimia selain bahan organik total, yang mungkin memiliki peran lebih menonjol seperti pH atau redokspotensial pada sedimen.

Di daerah disekitar muara sungai (pantai) konsentrasi fraksi *resistant* dari Zn menunjukkan nilai yang tinggi berkisar antara 0,72-12,73 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ dan konsentrasi fraksi ini menurun semakin jauh dari pantai (1,18-8,73 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Jika dibandingkan dengan ketiga logam lain (Pb, Cd dan Cu), fraksi *resistant* logam Zn menyebar di seluruh zona A, B dan C dengan prosentase yang tinggi ($\pm 40\%$) ditemukan di zona dekat muara sungai dan tepi pantai.

Bioavailabilitas logam Pb, Cd, Cu dan Zn. Logam Pb dan Cd merupakan logam yang tidak diperlukan (non-essential) dalam proses metabolisme biota laut sehingga disarankan tidak terdapat dalam produk hasil laut. Berbeda dengan kedua logam di atas, Cu dan Zn merupakan logam yang dibutuhkan dalam proses metabolisme biota. Sehingga kehadirannya merupakan hal penting pada tingkat tertentu. Dalam penelitian ini data konsentrasi logam berat di biota laut (kerang hijau) di peroleh dari Stasiun 9 (lokasi budidaya kerang hijau), sedangkan biota yang berasosiasi langsung dengan sedimen tidak diperoleh. Konsentrasi logam Pb, Cd, Cu dan Zn pada kerang hijau (*Perna viridis*) dengan ukuran panjang cangkang 4-6 cm masing-masing adalah 1.2 ± 0.07 ; 0.2 ± 0.01 ; 8.2 ± 0.15 dan $4.4 \pm 0.06 \mu\text{g g}^{-1}$ bk. Hasil penelitian ini belum dapat menyimpulkan korelasi antara fraksinasi logam berat dan kandungan logam berat dalam jaringan biota. Namun demikian, penelitian sebelumnya yang dilakukan di pantai barat

Malaysia menunjukkan bahwa terdapat korelasi positif yang nyata antara fraksi *EFLE*-Cd dengan daging kerang hijau, demikian juga antara *acid-reducible* Cu dengan daging kerang hijau (Ismail *et al.*, 2002). Berdasarkan kajian tersebut dapat diperkirakan bahwa padatan tersuspensi yang berasal dari terestrial maupun akibat proses pengadukan sedimen memiliki kontribusi penting bagi proses akumulasi logam berat pada jaringan kerang hijau.

Kesimpulan

Sedimen Teluk Jakarta tersusun terutama oleh fraksi lumpur-berpasir di zona B dan C (berjarak ± 5 km dan ± 10 dari garis pantai), sedangkan di zona A (dekat muara sungai dan garis pantai) didominasi oleh pasir berlumpur. Tren konsentrasi logam berat total (Pb, Cu dan Cd) cenderung berkurang ke arah laut (zona C), kecuali logam Zn yang memiliki konsentrasi rata-rata terendah di zona B. Fraksi geokimia Pb, Cu dan Zn didominasi oleh fraksi *oxidisable organic* sedangkan logam Cd didominasi fraksi *acid reducible*. Keempat logam tersebut sebagian besar dalam bentuk fraksi *non-resistant* yang mencirikan bahwa logam-logam tersebut bersumber dari aktifitas manusia, dan memiliki potensi terakumulasi oleh biota dasar.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini merupakan kerjasama antara *Japan Society for the Promotion of Science (JSPS)* dan Pusat Penelitian Oseanografi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (P2O-LIPI) dalam riset pencemaran pada tahun 2007. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Miyazaki dan seluruh tim peneliti yang telah banyak membantu baik di lapangan dan di laboratorium. Terima kasih kami sampaikan kepada Prof. Dr. Ir. Harpasis S. Sanusi dan Dr. Ir. Tripartono atas kritik dan saran dalam perbaikan penulisan makalah ini.

Daftar Pustaka

Amiard, J.C., A. Geffard, C. Amiard-Triquet, & C. Crouzet. 2007. Relationship between the lability of sediment-bound metals (Cd, Cu and Zn) and their bioaccumulation in benthic invertebrates. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 72: 511-521.

Arifin, Z. 2008. Kajian kecenderungan Perubahan Kontaminan Logam Berat di Perairan Teluk Jakarta. *In: Ruyitno (Ed). Kajian Perubahan Ekologis Perairan Teluk Jakarta*. Pusat Penelitian

Oseanografi-LIPI, LIPI Press, Jakarta. p:211-228.

Arifin, Z. 2005. Trend of Coastal Pollution in Jakarta Bay, Indonesia: Implication to Fishery and Recreation Activities. *In Bilateral Worskhop on Costal Resources Exploration and Conservation*. Bali 13 - 14 Oktober 2004. p:16-21.

CEM. 1991. CEM Microwave Sample Preparation System. CEM Cooperation, Canada. 15 p.

Fan, W. & W.X. Wang. 2002. Cu, Ni and Pb speciation in surface sediments from a contaminated bay of northern China. *Marine Pollution Bulletin* 44: 816-832.

Fang, J & K.X. Wang. 2006. Spatial distribution and partitioning of heavy metals in surface sediments from Yangtze Estuary and Hangzhou Bay, People Republic of China. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 76:831-839.

Ismail, A., K. Yap & S.G Tan. 2002. Correlation between Speciation of Cd, Cu, Pb and Zn in Sediment and their correlation in Total Soft Tissues of Green Lipped Mussel *Perna viridis* from the West coast of Peninsular Malaysia. *Environmental International* 28(2):117-126

Kiratli, N. & M. Ergin. 1996. Partitioning of heavy metals in surface Black Sea sediments. *Appl Geochem.* 11:775-788

Nordmyr, M., M. Astrom & P. Peltola. 2008. Metal pollution of estuarine sediments caused by leaching of acid sulphate soils. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 76: 141-152.

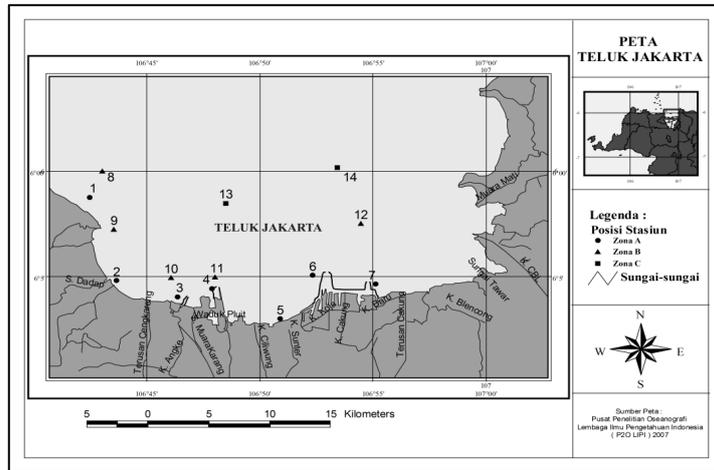
Ningtyas, P. 2002. Tingkat Akumulasi Logam Berat Pb, Cd, Cu dan Zn Pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Perairan Muara Kamal, Teluk Jakarta [Skripsi]. Program Studi Ilmu Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. 80 hal.

Rahayuningsih, S. K. 2007. Pedoman Analisa Sedimen Lepas di Laboratorium Geologi Laut, Bidang Dinamika Laut - Pusat Penelitian Oseanografi - LIPI. 4 hal.

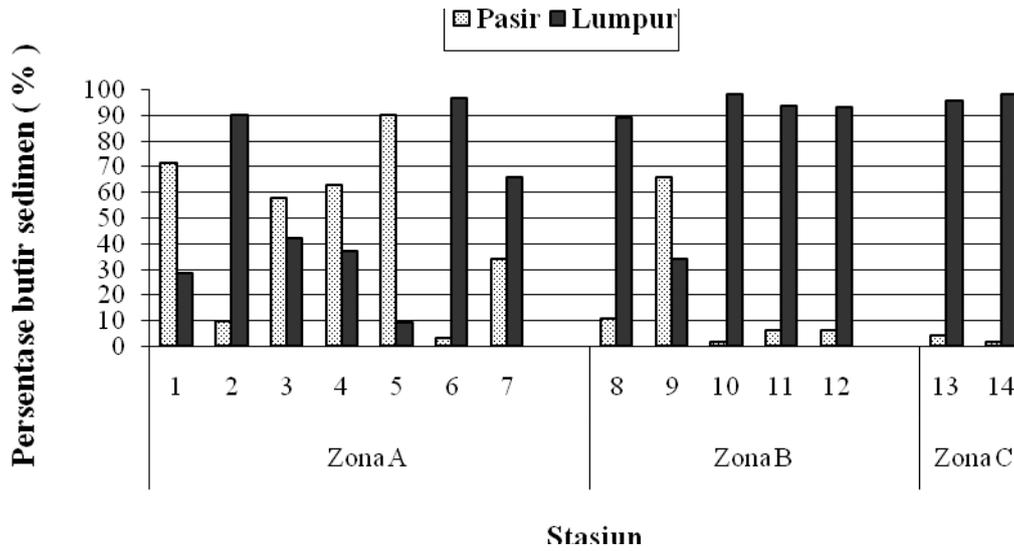
Rochyatun, E & A. Rozak. 2008. The distribution of heavy metals in sediment of Jakarta Bay. *Mar Res. Indonesia* 33 (1): 101-107

Sanusi, H. S. 2006. Kimia Laut, Proses Fisik Kimia dan Interaksinya Dengan Lingkungan. Bogor: Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas

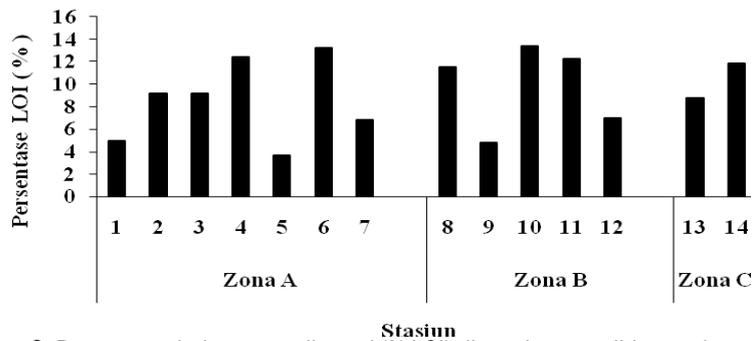
- Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor. 188 hal.
- Takarina, N.D., D.R. Browne & M.J. Risk. 2004. Speciation of Heavy Metals in Coastal Sediments of Semarang, Indonesia. *Mar. Poll. Bull.* 49: 854-874.
- Thomas, C. & L.I. Bendell-Young. 1998. Linking the sediment geochemistry of an intertidal region to metal bioavailability in the deposit feeder *Macoma balthica*. *Mar. Ecol. Prog. Ser* 173:197-213.
- Wang, W.X., Q.L. Yan, W. Fan, W., Y. Xu. 2002. Bioavailability of sedimentary metals from a contaminated bay. *Marine Ecology Progress Series* 240: 27-38.
- Yap, C.K., A. Ismail, & S.G. Tan., 2003. Concentration, Distribution and Geochemical Speciation of Copper In Surface Sediment of the Strait of Malacca. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 6 (12):1021-1026.



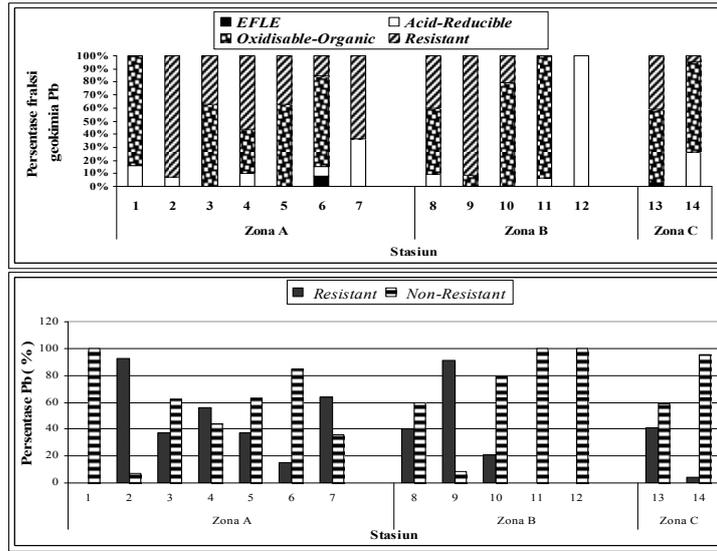
Gambar 1. Peta lokasi dan posisi stasiun pengambilan sampel di perairan Teluk Jakarta



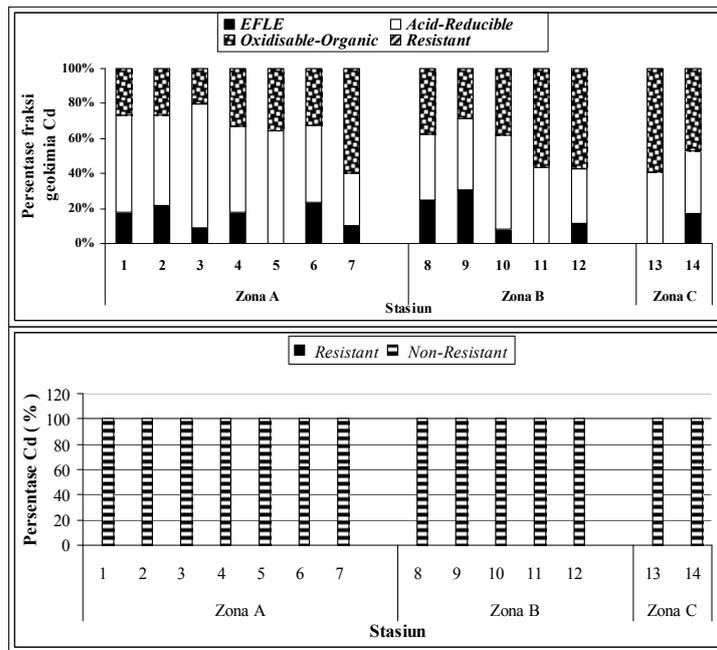
Gambar 2. Persentase ukuran butir sedimen (%) di stasiun pengamatan pada setiap zona penelitian



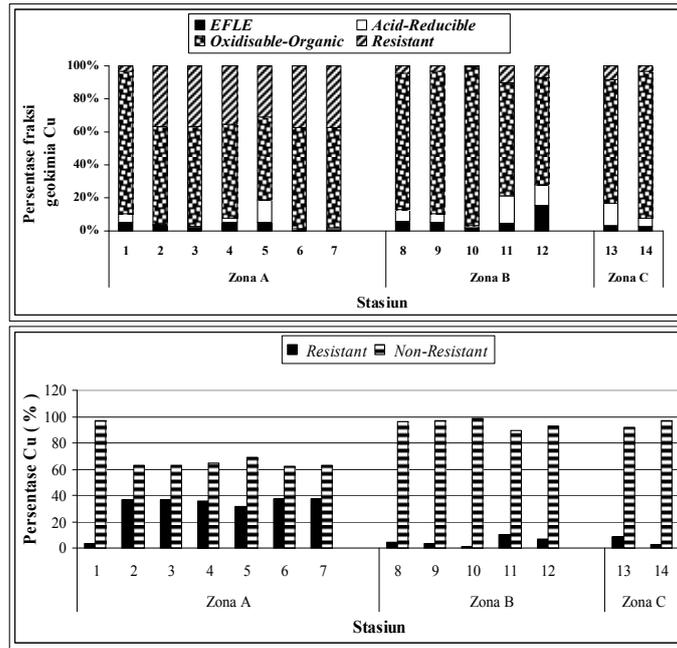
Gambar 3. Persentase bahan organik total (% LOI) di stasiun penelitian pada setiap zona penelitian



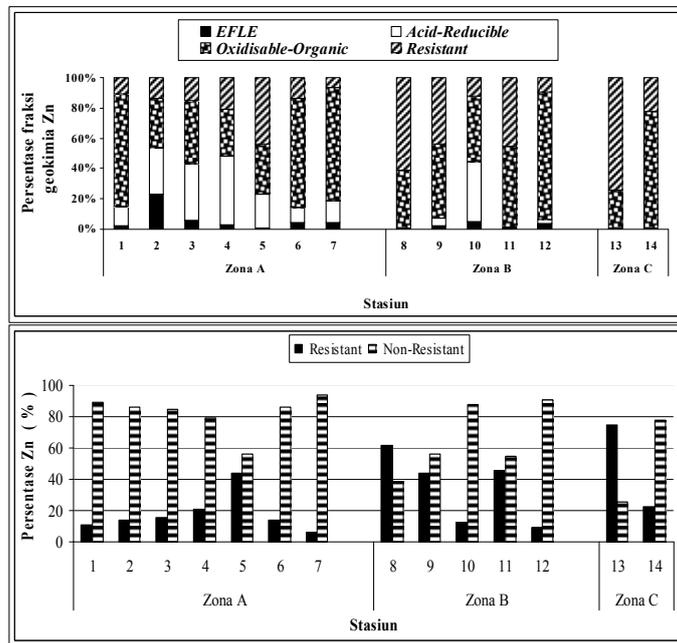
Gambar 4. Persentase fraksi geokimia Pb di stasiun pengamatan pada setiap zona penelitian



Gambar 5. Persentase fraksi geokimia Cd di stasiun pengamatan pada setiap zona penelitian



Gambar 6. Persentase fraksi geokimia Cu di stasiun pengamatan pada setiap zona penelitian



Gambar 7. Persentase fraksi geokimia Zn di stasiun pengamatan pada setiap zona penelitian

Tabel 1. Kualitas air dan konsentrasi logam berat total dalam sedimen ($\mu\text{g g}^{-1}$ berat kering, bk) pada bulan Agustus 2007. sd – standard deviasi; tt – tidak terdeteksi

Zona	Stasiun	suhu air (°C)	DO (ppm)	Sal (psu)	Depth (m)	Pb	sd-Pb	Cd	sd-Cd	Cu	sd-Cu	Zn	sd-Zn
A	1	28.4	4.7	30	5.0	4.70	0.13	0.048	0.013	12.57	0.340	553.16	0.57
	2	30.1	9.3	30	2.0	14.87	0.20	0.157	0.009	118.29	0.502	879.66	3.59
	3	29.7	6.4	30	3.0	10.93	0.32	0.059	0.024	38.87	0.201	1826.98	10.1
	4	29.7	5.7	31	5.0	8.87	0.04	0.072	0.011	29.09	0.282	1156.18	7.82
	5	29.2	6.0	31	2.0	5.16	0.14	0.012	0.012	7.64	0.057	974.49	7.95
	6	28.8	4.4	30	7.0	44.88	1.48	0.112	0.018	39.34	0.687	1748.58	30.55
	7	29.6	6.9	30	5.0	9.19	0.29	0.072	0.014	25.59	0.649	1265.26	12.34
	rata-rata	29.4	6.2	30.3	4.1	14.09	-	0.076	-	38.77	-	1200.62	-
B	8	28.4	5.0	30	12.0	9.02	0.21	0.033	0.009	15.02	0.052	765.39	5.17
	9	29.6	tt	30	3.5	5.79	0.18	0.037	0.010	14.71	0.271	710.10	3.87
	10	29.3	tt	31	3.0	12.86	0.18	0.155	0.010	63.68	0.331	261.32	2.83
	11	28.8	0.4	30	8.0	7.63	0.19	0.056	0.011	10.29	0.445	691.40	2.57
	12	28.7	5.5	31	16.0	11.52	0.19	0.098	0.013	25.74	0.225	1231.75	1.77
	rata-rata	29.0	3.6	30.4	8.5	9.36	-	0.076	-	25.89	-	731.99	-
C	13	28.4	5.3	30	12.0	7.17	0.36	0.038	0.008	13.66	0.308	809.72	5.07
	14	28.7	6.0	31	24.0	8.31	0.32	0.05	0.005	12.91	0.166	780.75	1.46
		rata-rata	28.6	5.7	30.5	18.0	7.74	-	0.044	-	13.29	-	795.24