

## KONSENTRASI Hg, Cd, Cu, Pb, DAN Zn DALAM SEDIMEN DI PERAIRAN GRESIK

### CONCENTRATION OF Hg, Cd, Cu, Pb AND Zn IN SEDIMENT OF GRESIK WATERS

Lestari<sup>1</sup> dan Fitri Budiyanto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pusat Penelitian Oseanografi LIPI

Jl Pasir Putih I Ancol Timur, Jakarta Utara-Indonesia

Email: lestari\_sardi@yahoo.com

#### ABSTRACT

*Gresik coastal waters is one of the areas that have a potential risk for environmental damage due to anthropogenic activities. Water and sediment samples were collected to determine metals concentration and to identify sediment quality in February 2012. Twelve samples were collected for analysis of mercury (Hg) and four other metals (Cd, Cu, Pb, and Zn). Mercury was analyzed using USEPA method 7471B with Flameless-AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer) varian type SpectarAA VGA 20-76 and the other metals were analyzed using USEPA 30050B with Flame-AAS. Results showed that ranges and average concentrations of Hg were 0.04-0.33 (0.13) mg/kg, Cd 0.08-3.05 (0.64) mg/kg, Cu 23.7-234.0 (85.5) mg/kg, Pb 1.74-12.7 (4.29) mg/kg, and Zn 77.0-405.0 (133.0) mg/kg. Metals with high concentrations were detected in some places and by SQG-Q, surface sediment showed a moderate impact level of biological adverse effects in aquatic sediments.*

**Keywords:** mercury, heavy metal, sediment, Gresik.

#### ABSTRAK

Perairan pesisir Gresik adalah salah satu daerah yang memiliki potensi risiko untuk kerusakan lingkungan akibat kegiatan antropogenik. Telah dilakukan pengambilan sampel untuk menentukan konsentrasi logam berat dan kualitas sedimen di perairan tersebut pada Februari 2012. Dua belas sampel diambil dan dikumpulkan untuk analisis merkuri dan empat logam (Cd, Cu, Pb, dan Zn). Merkuri dianalisis dengan menggunakan metode USEPA 7471B menggunakan AAS (Spektrofotometri Serapan Atom) tanpa nyala Varian tipe SpectarAA 20 dengan alat tambahan VGA-76 dan empat logam lainnya (Cd, Cu, Pb, dan Zn) dianalisis menggunakan metode USEPA 30050B dan diukur menggunakan AAS dengan nyala. Kisaran dan rata-rata konsentrasi logam Hg 0,04-0,33 (0,13) mg/kg, Cd 0,08-3,05 (0,64) mg/kg, Cu 23,7-234 (85,5) mg/kg, Pb 1,74-12,7 (4,29) mg/kg, dan Zn 77-405 (133) mg/kg. Beberapa logam dengan konsentrasi tinggi terdeteksi di beberapa tempat dan berdasarkan SQG-Q, sedimen permukaan menunjukkan berdampak sedang yang berpotensi memberi efek biologis yang merugikan dalam sedimen di perairan.

**Kata kunci:** merkuri, logam berat, sedimen, Gresik.

#### I. PENDAHULUAN

Wilayah pesisir merupakan zona interaksi antara lautan dan daratan yang luasnya mencapai 15% dari daratan bumi. Wilayah pesisir di Indonesia sangat potensial, karena merupakan lokasi

perdagangan, transportasi, perikanan tangkap, budidaya perairan, industri, pertambangan dan pariwisata. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kondisi lingkungan pesisir diantaranya: pertumbuhan penduduk, kegiatan-kegiatan

manusia, sedimentasi, ketersediaan air bersih dan pencemaran (Nontji, 2002).

Kabupaten Gresik berada antara 7' LS - 8' LS dan 112' BT - 133' BT dan mempunyai wilayah kepulauan yaitu pulau Bawean dan beberapa pulau kecil disekitarnya. Luas wilayah perairan adalah 5.773.80 Km<sup>2</sup> (Pemerintah Kabupaten Gresik, 2012) yang sangat potensial dari subsektor perikanan laut. Berdasarkan data industri (Pemerintah Kabupaten Gresik 2012) periode tahun 2003 - 2011 terdapat 626 industri kecil dan 706 industri menengah dan besar dengan berbagai ragam jenis kegiatannya. Namun hanya 22 industri yang memiliki dokumen AMDAL dan 226 industri yang memiliki dokumen RKL/RPL pada Tahun 2009.

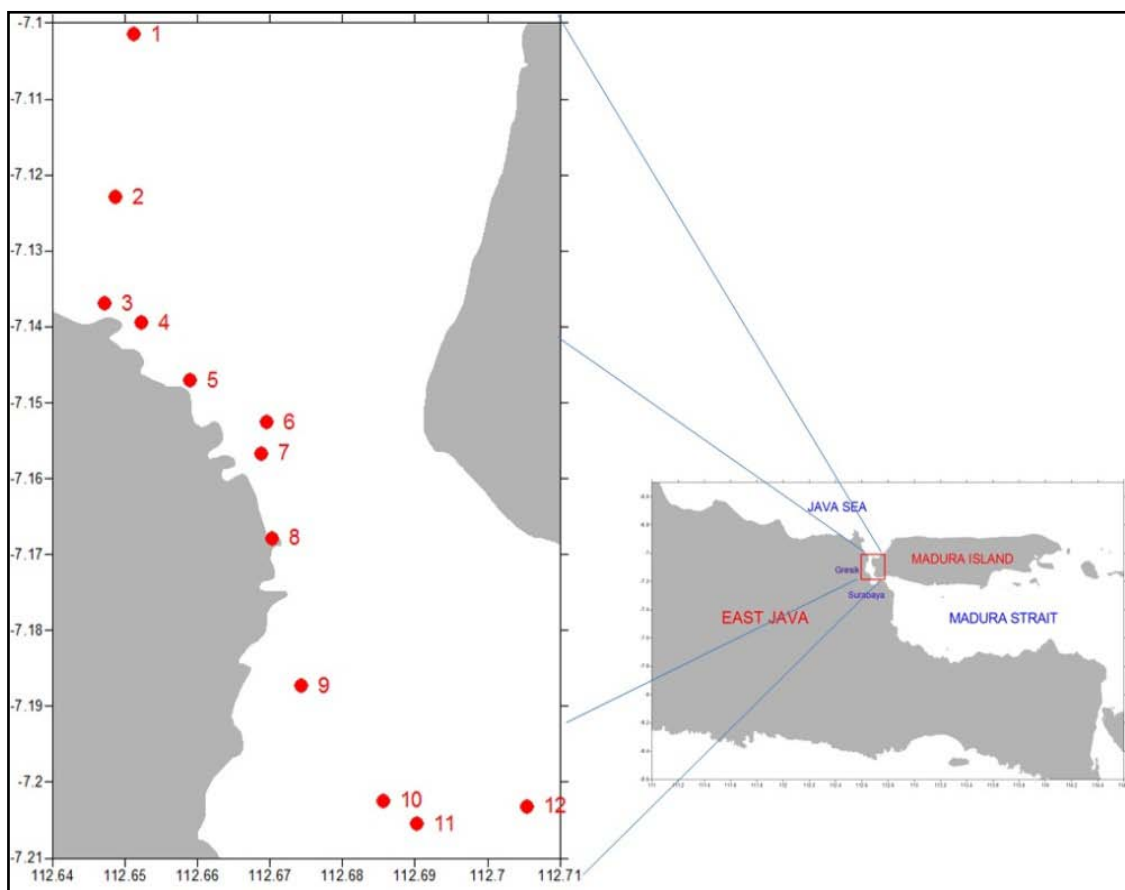
Kontaminasi logam merupakan salah satu kontaminan yang ada dimana-mana, persistan, dan merupakan warisan masa lalu (tambang yang terbengkalai) serta yang akan datang, serta salah satu issue yang dapat menimbulkan penurunan kualitas lingkungan (Luoma dan Rainbow, 2008). Peningkatan konsentrasi logam berat dalam air laut akan menyebabkan logam berat yang semula dibutuhkan untuk berbagai proses metabolisme, seperti Cu, Ni, Zn, akan berubah menjadi racun bagi organisme laut. Selain bersifat racun, logam berat juga akan terakumulasi dalam sedimen dan dalam biota melalui proses biokonsentrasi, bioakumulasi dan biomagnifikasi. Peningkatan konsentrasi logam berat dalam air laut yang berlangsung secara terus menerus, akan berakhir dengan timbulnya pencemaran.

Kajian akumulasi dari logam berat dalam sedimen di lingkungan estuari dan pesisir sebagai hasil dari limbah domestik dan industri mendapat perhatian yang lebih dibandingkan dengan penelitian yang hanya mengenai konsentrasi logam berat yang ada (Everaarts, 1989).

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi Hg, Cd, Cu, Pb dan Zn dalam sedimen serta mengkaji awal kualitas sedimen berdasarkan logam berat di perairan pesisir Gresik.

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada Bulan Februari 2012 di Perairan pesisir Gresik, Jawa Timur (Gambar 1). Contoh sedimen diambil dari 12 stasiun pengamatan. Sedimen diambil pada lapisan permukaan (0-10 cm) dengan menggunakan *box core grab stainless steel*. Pengambilan sampel dilakukan satu kali pada tiap stasiun. Sampel sedimen untuk analisis merkuri dimasukkan ke dalam wadah gelas borosilikat dan untuk analisis logam berat (Cd, Cu, Pb dan Zn) dimasukkan ke dalam wadah polietilen kemudian disimpan dalam *cool box*. Di laboratorium, untuk analisis merkuri sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam dan untuk logam berat Cd, Cu, Pb dan Zn sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam kemudian dihaluskan (Hutagalung *et al.*, 1997). Analisis merkuri menggunakan metode 7471 B (USEPA, 2007) pada satu gram sampel kering yang didestruksi dengan campuran aqua regia-larutan KMnO<sub>4</sub> dan hidrosilamin klorida serta menambahkan larutan SnCl<sub>2</sub> sebelum diukur dengan menggunakan *Flameless AAS SpectrAA-20 Plus Varian* dengan Assessories Vapor Generated. Untuk analisis logam berat Cd, Cu, Pb dan Zn, satu gram sampel sedimen kering didestruksi dengan campuran larutan HNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-HCl pada suhu 95 °C selama 6 jam (USEPA, 1996). Semua peralatan yang digunakan untuk analisis logam berat dicuci dengan asam dan dibilas dengan aquabides. Pengukuran konsentrasi logam berat menggunakan *Flame AAS SpectrAA-20 Plus Varian* dengan nyala campuran udara-asetilen.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel di perairan pesisir Gresik, Jawa Timur.

Batas deteksi alat AAS SpectrAA-20 Plus Varian untuk Hg 0,2 µg/L, Cd 0,02 µg/L, Cu 0,003 µg/L, Pb 0,01 µg/L, dan Zn 0,001 µg/L. Untuk menjamin mutu pengukuran, pengukuran terhadap bahan yang bersertifikat (*Certified Reference Material*) dilakukan dengan menggunakan CRM PACS-2 dari *Institute for National Measurement Standards, National Research Council of Canada* (Tabel 1). Hasil pengukuran logam berat dalam

sedimen dibandingkan dengan pedoman mutu sedimen: antara lain dengan ANZECC/ARMCANZ (2000) dari Australia dan Selandia Baru dan Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME, 1999) dari Canada karena Indonesia belum memiliki pedoman mutu untuk sedimen serta dengan di beberapa beberapa daerah lainnya. Serta menggunakan indeks kualitas SQG-Q untuk mengkaji awal kualitas sedimen.

Tabel 1. Jaminan mutu dengan pengukuran menggunakan CRM PACS-2.

Logam berat	Nilai CRM PACS-2 (mg/kg BK) pada sertifikat	Nilai pengukuran CRM PACS-2 (mg/Kg BK) pada penelitian ini
Hg	3,04±0,2	2,77±0,04
Cd	2,11±0,15	2,37±0,01
Cu	310±12	313±4,07
Pb	183±8	154±22,7
Zn	364±23	395±1,13

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

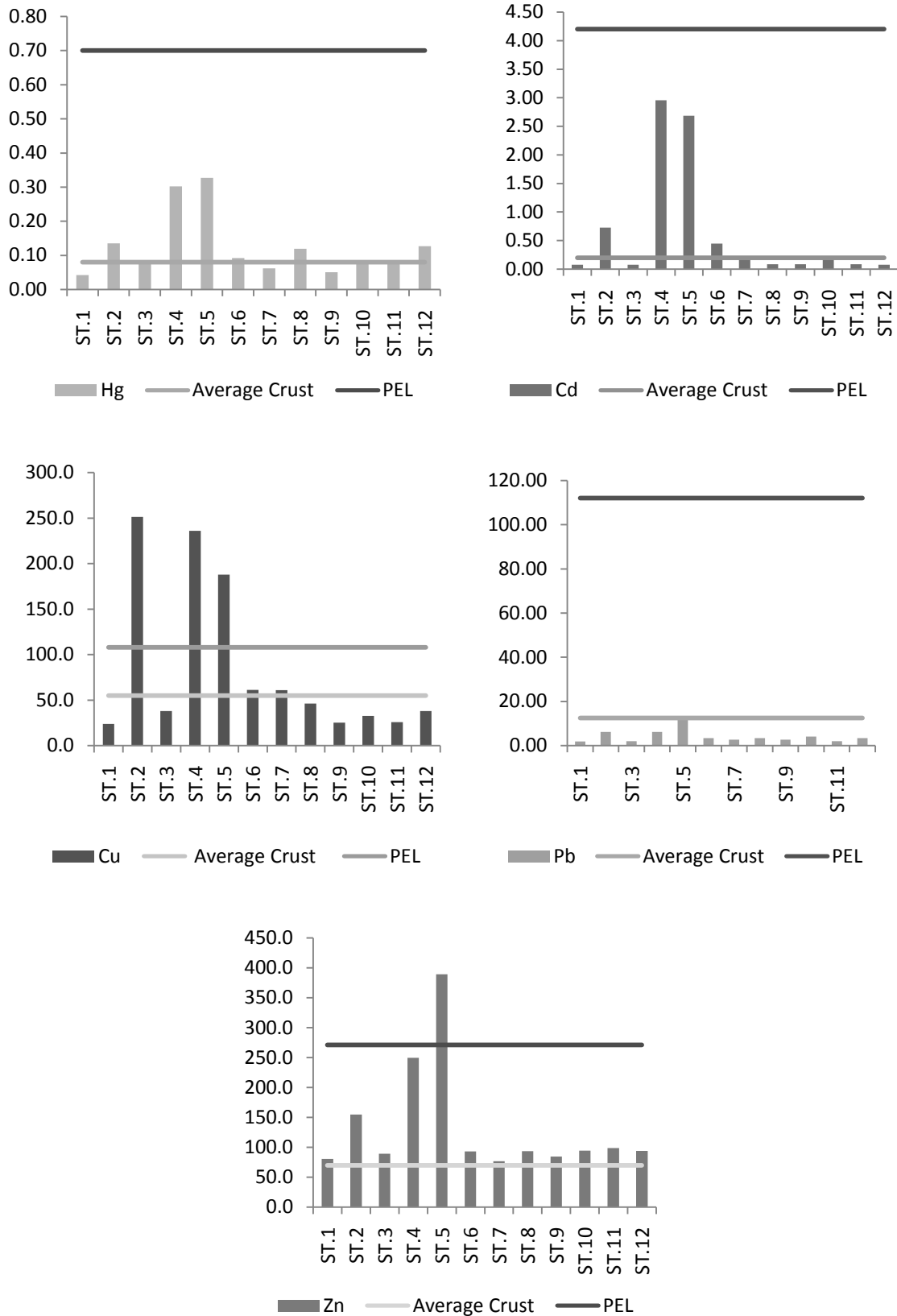
Hasil analisis logam berat dalam sedimen di perairan ini dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 2. Kisaran dan rata-rata konsentrasi logam berat Hg, Cd, Cu, Pb dan Zn dalam sedimen dapat dilihat pada Tabel 2. Pada lokasi ini, kisaran dan rata-rata konsentrasi logam Hg 0,04-0,33 (0,13) mg/kg, Cd 0,08-3,05 (0,64) mg/kg,

Cu 23,7-234 (85,5) mg/kg, Pb 1,74-12,7 (4,29) mg/kg, dan Zn 77-389 (134) mg/kg. Konsentrasi logam Hg tertinggi di stasiun St.4 dan 5 (0,30 dan 0,33 mg/kg), Cd tertinggi di stasiun St.4 dan 5 (2,95 dan 2,69 mg/kg), Cu tertinggi pada stasiun 2, St. 4, dan St. 5 (251 mg/kg, 236 mg/kg, dan 188 mg/kg), sedangkan Zn pada St. 4 dan St. 5 (249 mg/kg dan 389 mg/kg).

Tabel 2. Konsentrasi logam berat dalam sedimen (mg/kg berat kering) di perairan pesisir Gresik, Jawa Timur 2012.

Titik stasiun	Logam berat (mg/kg berat kering)				
	Hg	Cd	Cu	Pb	Zn
ST.1	0,04±0,003	0,08±0,00	23,7±0,41	1,87±0,00	70,4±1,11
ST.2	0,14±0,000	0,63±0,16	249±4,06	6,43±0,41	158±6,78
ST.3	0,08±0,007	0,08±0,00	38,1±0,41	1,74±0,41	88,3±0,78
ST.4	0,30±0,003	3,05±0,16	234±4,04	5,93±0,40	253±5,15
ST.5	0,33±0,004	2,59±0,16	190±4,06	12,7±7,03	405±13,3
ST.6	0,09±0,003	0,35±0,16	61,3±1,08	3,61±0,81	92,6±0,41
ST.7	0,06±0,000	0,17±0,00	61,2 ±1,07	2,67±0,70	77,3±0,45
ST.8	0,12±0,003	0,14±0,05	45,9±0,41	3,60±0,41	93,3±0,30
ST.9	0,05±0,005	0,14±0,05	25,1±0,00	2,91±0,41	84,8±0,23
ST.10	0,08±0,007	0,17±0,00	32,8±1,07	4,28±0,40	94,3±0,22
ST.11	0,08±0,007	0,14±0,05	25,5±0,40	2,20±1,07	98,8±0,11
ST.12	0,13±0,022	0,11±0,05	38,1±0,41	3,62±1,08	94,2±0,41
Minimum	0,04±0,003	0,08±0,00	23,7±0,41	1,74±0,41	77,3±0,45
Maksimum	0,33±0,004	3,05±0,16	234±4,04	12,7±7,03	405±13,3
Rata-rata	0,13	0,64	85,5	4,29	134
Rata-rata konsentrasi di alam (Taylor, 1964)	0,08	0,20	55,0	12,5	70,0

Konsentrasi Hg, Cd, Cu, Pb, dan Zn dalam Sedimen di Perairan...



Gambar 2. Konsentrasi logam berat (mg/kg berat kering) dalam sedimen di perairan pesisir Gresik dibandingkan dengan konsentrasi sedimen alami dan nilai PEL.

Pada perairan ini konsentrasi Hg dan logam berat (Cd, Cu, Pb, dan Zn) mempunyai nilai yang bervariasi. Beberapa lokasi stasiun mempunyai nilai yang lebih tinggi, hal ini mungkin disebabkan karena stasiun pada lokasi ini (St. 1, St. 2, St. 3, St. 4 dan St. 5) dekat dengan muara sungai yang membawa kontaminan yang berasal dari kegiatan antropogenik baik di darat maupun di pesisir, sedangkan pada lokasi tempat pembuangan limbah dari industri (menurut penduduk setempat) berada pada stasiun St. 3, St. 4 dan St. 5.

Taylor (1964) menunjukkan bahwa nilai rata-rata konsentrasi logam-logam tersebut di sedimen alami (*Average crustal abundance*) adalah Hg= 0,08 mg/kg, Cd= 0,2 mg/kg, Cu= 55 mg/kg, Pb= 12,5 mg/kg, dan Zn= 70 mg/kg, Mengacu pada kondisi tersebut, logam Cd, Cu Pb, dan Zn di beberapa titik lokasi telah melebihi batas alami..

### 3.1. Perbandingan dengan Pedoman Mutu Sedimen

Pada Tabel 3 dapat dilihat perbandingan pedoman mutu ANZECC/

ARMCANZ (2000) dari Australia dan Selandia Baru dan Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME, 1999) dari Canada dengan kondisi mutu sedimen di perairan pesisir Gresik. Dari pengamatan ini mengindikasikan bahwa konsentrasi rata rata logam berat Cu dan konsentrasi logam Cd serta Zn di beberapa lokasi stasiun di sedimen berada diatas *low value* pedoman mutu ANZECC/ARMCANZ (2000). Merujuk pada baku mutu CCME (2001), mengindikasikan bahwa konsentrasi rata-rata logam berat Cu dan konsentrasi logam Cd serta Zn di beberapa lokasi stasiun di sedimen telah melewati ISQG (*interim sediment quality guidelines*) dan nilai *PEL* (*Probable effect level*). Berdasarkan perbandingan dengan pedoman mutu sedimen tersebut, logam-logam tersebut mulai beresiko bagi kualitas lingkungan disekitar sistem akuatik. Hal ini harus diwaspadai dikarenakan sifat logam berat yang dapat berakumulasi, sehingga perlu terus di amati karena dapat menurunkan kualitas lingkungan di sekitarnya.

Tabel 3. Perbandingan kualitas sedimen di perairan pesisir Gresik, Jawa Timur 2012 dengan beberapa panduan mutu.

		Hg	Cd	Cu	Pb	Zn
Perairan pesisir Gresik	Minimum	0,04	0,08	23,7	1,74	77
	Maksimum	0,33	3,05	234	12,7	405
	Rerata	0,13	0,64	85,5	4,29	133
ANZECC /ARMCANZ Guidelines	Low	0,15	1,5	65	50	200
	High	1	10	270	220	410
CCME	ISQG*	0,13	0,7	18,7	30,2	124
	PEL**	0,7	4,2	108	112	271

(\*)ISQG, *interim sediment quality guidelines*

(\*\*)PEL, *probable effect levels*

### 3.2. Perbandingan Konsentrasi Logam Berat dalam Sedimen di Beberapa Perairan di Indonesia

Konsentrasi rata-rata logam berat Cu dan Cd dalam sedimen di perairan Gresik lebih tinggi bila dibandingkan dengan perairan Teluk Jakarta (Hutagalung *et al.*, 1995) dan perairan lain pada Tabel 4. Konsentrasi rata-rata Pb lebih rendah

dibandingkan dengan perairan Teluk Jakarta, demikian juga logam Zn lebih rendah dari Perairan Teluk Jakarta dan lebih tinggi dari perairan lain. Hal ini dapat disebabkan oleh masuknya jenis limbah yang dihasilkan oleh kegiatan antropogenik yang berbeda pada tiap lokasi.

Tabel 4. Perbandingan konsentrasi logam berat (mg/kg bobot kering) dalam sedimen di perairan Gresik dengan beberapa perairan lainnya di Indonesia.

Lokasi	Kisaran dan rata-rata konsentrasi logam (mg/kg berat kering)				rujukan
	Cd	Cu	Pb	Zn	
Siak waters	0,40-0,75 <sup>a)</sup> (0,6±0,1) <sup>b)</sup>	4,2-8,1 (5,9±1,5)	29,1-47,4 (42±3,4)	40,0-73,1 (57±13)	Hutagalung <i>et al.</i> (1997)
Banten Bay	0,19-0,98 (0,5±0,2)	5,2-18,4 (11±3,1)	38,1-59,5 (49±5)	48,5-78,4 (59±7,8)	Hutagalung <i>et al.</i> (1997)
Jakarta Bay	0,24-0,80 (0,5±0,2)	10,5-106 (53±27)	10,9-105 (42±24)	121-508 (250±129)	Hutagalung <i>et al.</i> (1997)
Malaka Straits	0,11±0,6	10,8±4,3	30,2±7	65,9±24,5	Hutagalung <i>et al.</i> (1997)
East Kalimantan	<0,001-0,1	2,02-14,5	4,4-15,2	15,8-121,2	Rochyatun, <i>et al.</i> (2003)
Klabat Bay	0,01-0,10 (0,04±0,03)	0,28-5,67 (1,86±1,62)	1,06-58,19 (14,06±15,32)	0,43-36,85 (14,39±11,06)	Lestari <i>et al.</i> (2007)
Lampung Bay	0,01-0,69 (0,23±4,87)	0,55-35,74 (10,47±6,40)	0,28-24,73 (9,40±4,87)	19,7-118,5 (57,30±21,81)	Lestari & Witasari (2010)
Semarang	0,06-0,13	18,3-36,6	10,9-17,3	13,6-16,3	Lestari, (2011)
Gresik Waters	0,08-2,95 (0,64)	23,7-251 (85,5)	1,87-12,7 (4,20)	77-389 (133)	This study

a) Range of metal concentration

b) Average of concentration and standard deviation

c) Range of metal concentration

d) Average of concentration

**3.3. Perbandingan dengan Sediment Quality Guidelines (SQGs)**

Sediment Quality Guidelines (SQGs) sangat berguna untuk mengkaji sedimen yang terkontaminasi dengan membandingkan konsentrasi kontaminan sedimen dengan pedoman kualitas yang sesuai. Pedoman ini mengevaluasi sejauh mana status kimia sedimen terkait negatif yang mungkin mempengaruhi organisme air dan dirancang untuk membantu untuk penafsiran kualitas sedimen (Wenning dan Ingersoll, 2002). Beberapa dikembangkan untuk perairan laut (Long *et al.*, 1995) tetapi beberapa telah secara khusus dikembangkan untuk muara perairan (Chapman dan Wang, 2001). Penelitian yang dilakukan oleh Wilson dan Jeffrey (1987) adalah contoh langka SQGs dikembangkan secara khusus untuk muara (Caeiro *et al.*, 2005).

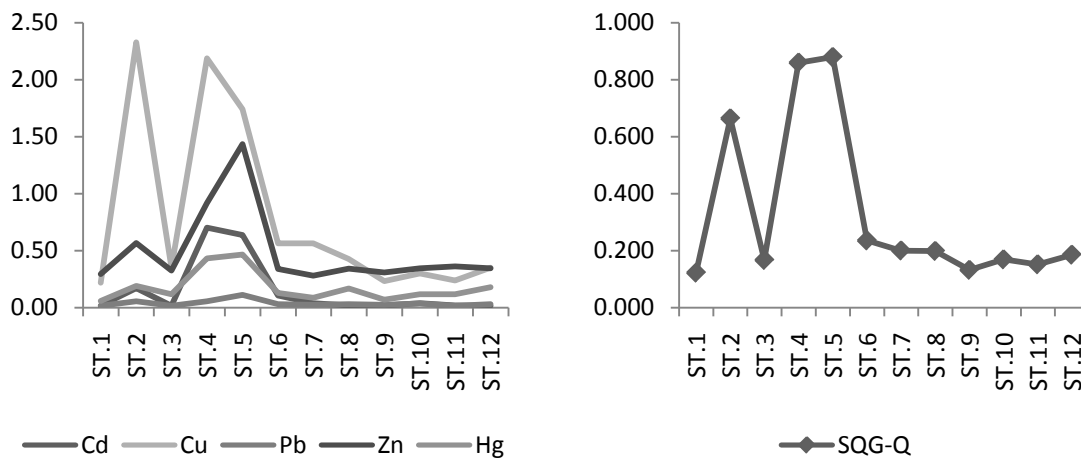
Untuk mengetahui Indeks kualitas sedimen di perairan ini menggunakan panduan kualitas sedimen (Sediment

Quality Guidelines Quotion, SQG-Q) (MacDonald *et al.*, 1996), berdasarkan rumus dibawah ini

$$PEL-Q_i = \frac{\text{contaminant}}{PEL}$$

$$SQG-Q = \frac{\sum_{i=1}^n PEL-Q_i}{n}$$

Dimana, PEL-Q<sub>i</sub> merupakan hasil hitung dari konsentrasi kontaminan yang diukur dengan nilai PEL nya, kemudian jumlah dari beberapa parameter kontaminan yang diuji dijumlahkan dan dibagi sebanyak jumlah jenis kontaminan yang diuji sehingga mendapat nilai SQG-Q. Nilai tersebut kemudian dikategorikan dalam beberapa kelas seperti pada Tabel 5. Berdasarkan SQG-Q, sedimen permukaan di perairan pesisir Gresik menunjukkan berdampak sedang yang berpotensi memberi efek biologis yang merugikan.



Gambar 3. Nilai PEL-Q<sub>i</sub> dan SQG-Q logam berat dalam sedimen di perairan pesisir Gresik.

Tabel 5. Kategori SQG-Q.

Class	Category
SQG-Q < 1	unimpacted, lowest potential for observing adverse biological effects
0,1 < SQG-Q < 1	moderate impact potential for observing adverse biological effects
SQG-Q ≥ 1	highly impacted potential for observing adverse biological effects



#### IV. KESIMPULAN

Hasil Penelitian menunjukkan bahwa logam Cd, Cu, Pb, dan Zn di beberapa titik lokasi telah melebihi batas alami. Logam-logam tersebut dalam sedimen permukaan mulai beresiko bagi kualitas lingkungan disekitar sistem akuatik. Hal ini harus diwaspadai dikarenakan sifat logam berat yang dapat berakumulasi, sehingga perlu terus di amati karena dapat menurunkan kualitas lingkungan di sekitarnya. Berdasarkan SQG-Q, sedimen permukaan menunjukkan berdampak sedang yang berpotensi memberi efek biologis yang merugikan.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Drs. Helfinalis M.Sc. selaku koordinator proyek pada penelitian ini. Abdul Rozak A.Md dan M.Taufik Kaisupy yang telah membantu untuk analisis di Laboratorium Logam Berat Puslit Oseanografi LIPI.

#### DAFTAR PUSTAKA

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. 29p.

Caeiro, S., M.H. Costa, T.B. Ramos, F. Fernandes, N. Silveira, A. Coimbra, G. Medeiros and M. Painho. 2005. Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: an index

analysis approach. *Ecological Indicators* 5:151-169.

- Canadian Council of Ministers of the Environment. 1999. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: merucy. *In: Canadian Environmental Quality Guidelines*. 5p.
- Everaats, J.M. 1989. Heavy metals (Cu, Zn, Cd, Pb) in sediment of Java Sea, estuarine and coastal areas of the East java and some deep-sea areas. *Neth. J. Sea Res.*, 34:403-413.
- 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. Hlm.:59-80.
- Hutagalung, H.P., S. Deddy, and K. Munawir. 1997. Organochlorine oil and heavy metals in Siak Estuary. Riau. Indonesia. *In: Vigers et al. (Eds.). Proceeding of ASEAN Marine Environmental Management: quality criteria and monitoring for aquatic life and human health protection*. Penang. Malaysia. V:21-29pp.
- Lestari, J.M. Manik dan Abdul Rozak. 2007. Kualitas perairan Teluk Klabat, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung ditinjau dari aspek logam berat. Bunga rampai sumberdaya laut dan lingkungan Bangka Belitung 2003-2007. Jakarta: Pusat Penelitian Oseanografi LIPI: Hlm.:23-32.
- Lestari dan Witasari, Y. 2010. Kualitas perairan di Teluk Lampung ditinjau dari aspek logam berat. *Dalam: Ruyitno et al. (Eds.). Status sumber daya laut di perairan Teluk Lampung*. LIPI Press. Hlm.:160-170.

- Lestari 2011. Distribusi dan geokimia logam berat dalam sedimen di Perairan Semarang, Jawa Tengah. *In: Nababan et al.* (Eds.). Prosiding pertemuan ilmiah nasional tahunan VIII ISOI 2011. Ikatan Sarjana Oseanologi Indonesia, 25-27 September 2011. Makassar. Hlm.:204-217.
- Luoma, S.N. and P.S. Rainbow. 2008. Metal contamination in aquatic environment: science and lateral management. Cambridge University Press. Cambridge. 556p.
- Long, E.R., D.D. MacDonald, S.L. Smith, F.D. Calder. 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environ. Manage.*, 19:81-97.
- MacDonald, D.D., S. Carr, F.D. Clader, E.D. Long, C.G. Ingersoll. 1996. Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters. *Ecotoxicology*, 5:253-278.
- Nontji, A. 2002. Laut Nusantara. Djambatan. Jakarta Cetakan ke-3. 367hlm.
- Pemerintah Kabupaten Gresik, 2012. Profil geografi, <http://www.gresik.go.id/> di download pada tanggal 24 April 2012.
- Rochyatun, E., Edward dan A. Rozak 2003. Kandungan logam berat Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Cr, Mn & Fe dalam air laut dan sedimen di perairan Kalimantan Timur. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 35:51-71.
- Taylor, S.R. 1964. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 28(8):1273-1285.
- USEPA. 1996. Test methods for evaluating solid waste SW-846 methods 3050B, acid digestion of sediments, sludges, and soils. 12 p.
- USEPA. 2007. Test methods for evaluating solid waste SW-846 methods 7471B, mercury in solid or semisolid waste (manual cold-vapor technique). 11p.
- Diterima : 15 Februari 2013*  
*Direvisi : 13 Mei 2013*  
*Disetujui : 27 Juni 2013*