

***Chaetoceros gracilis* SEBAGAI BIOINDIKATOR KUALITAS SEDIMEN**

***Chaetoceros gracilis* AS A BIOINDICATOR OF SEDIMENT QUALITY**

Rachma Puspitasari^{1*} dan Lestari¹

¹Pusat Penelitian Oseanografi – LIPI, Jl. Pasir Putih 1 No. 1, Jakarta Utara

*Email: poespitsari@yahoo.com

ABSTRACT

*Chronic sediment toxicity tests could be used to evaluate the effects of sediment on critical stages in the life of an organism like invertebrate larvae and microalgae. Microalgae play an important role in aquatic ecosystem due to their role as producer in food chain producing organic matter and oxygen through photosynthesis process. This paper aimed to assess sediment quality of Semarang water using chronic sediment toxicity test. Research was conducted by testing 13 sediment samples from Semarang coastal region in August, 2010. Results showed that sediments exposed for 96 hours were still able to stimulate the growth of *C. gracilis* even though the copper concentration was above standard value provided by the CCME. The conclusion from this research was that sediment in Semarang still in good condition and can support growth of *C. gracilis* as primary producer. Chronic sediment toxicity test using *C. gracilis* could be combined with heavy metal measurement for sediment quality assessment.*

Keywords: *sediment, bioindicator, diatomae, C. gracilis, chronic toxicity, Semarang*

ABSTRAK

Uji toksisitas sedimen pada level kronik dapat digunakan untuk mengevaluasi pengaruh dari sedimen terhadap fase kritis pada organisme seperti invertebrata dan mikroalga. Mikroalga memegang peranan penting dalam ekosistem akuatik karena berperan sebagai produsen dalam rantai makanan yang menyediakan bahan-bahan organik dan oksigen melalui fotosintesis. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kualitas sedimen perairan Semarang menggunakan uji toksisitas sedimen pada level kronik. Penelitian dilakukan dengan mengambil sampel sedimen di 13 lokasi pada bulan Agustus 2010 di perairan Semarang. Hasil menunjukkan bahwa sedimen pesisir yang dipaparkan selama 96 jam masih menstimulasi pertumbuhan *C. gracilis*, walaupun ditemui tingkat konsentrasi tembaga yang lebih tinggi dari batas aman yang ditetapkan oleh CCME. Kesimpulan dari penelitian ini adalah sedimen Semarang masih dalam kategori baik dan mendukung pertumbuhan fitoplankton *C. gracilis* sebagai produsen primer. Pengujian sediment pada level kronik menggunakan *C. gracilis* dapat digabungkan dengan pengukuran konsentrasi logam berat untuk penilaian kualitas sedimen.

Kata kunci: sedimen, bioindikator, Semarang, diatom, toksisitas kronik, Semarang

I. PENDAHULUAN

Uji toksisitas akut sangat penting untuk mengidentifikasi senyawa kimia yang sangat beracun tetapi tidak mampu menginformasikan gangguan terhadap tahap-tahap kritis perkembangan seperti pada tahap *moulting* dan reproduksi. Selain itu, sedimen estuari biasanya

mengandung senyawa kimia dalam tingkatan moderat toksik yang tidak menyebabkan kematian (Scarlett *et al.*, 2007). Untuk merespon hal tersebut, Asean Canada Cooperative Programme on Marine Science (1995) telah mengembangkan metode pengujian kronik selama 96 jam untuk fitoplankton dan

telah banyak digunakan untuk penilaian kondisi kesehatan suatu perairan.

Sedimen tidak hanya berfungsi sebagai reservoir bagi kontaminan tetapi bisa juga sebagai sumber toksikan bagi organisme laut. Oleh karena itu, uji biologis (*bioassay*) sedimen merupakan salah satu tahap penting dalam analisa kualitas lingkungan laut dengan cara memberikan informasi toksisitas terhadap biota. Dalam uji *bioassay* sedimen, penggunaan teknik “*elutriate*” (larutan uji diambil dari air bagian atas campuran sedimen dan air laut steril yang diendapkan selama beberapa jam) cocok digunakan untuk organisme yang hidup di kolom air seperti fitoplankton yang hidup melayang di kolom air. Mikroalga atau fitoplankton adalah komponen esensial dari ekosistem akuatik yang memproduksi oksigen dan substansi organik melalui proses fotosintesis yang sangat dibutuhkan bagi organisme lainnya antara lain ikan dan invertebrata (Berard, 1996). Diatom *C. gracilis* adalah spesies yang dapat digunakan sebagai biota uji dalam uji toksisitas sedimen karena memenuhi beberapa persyaratan sebagai biota uji (Rand & Petrocelli, 1985), yaitu pertumbuhannya yang cepat, sensitivitas dan penanganannya mudah di laboratorium (Hindarti, 2008). *Chaetoceros gracilis* merupakan spesies dari kelas Bacillariophyceae dan merupakan salah satu genus diatom penting dalam plankton laut karena merupakan genus terbesar dan berperan sebagai produsen primer serta merupakan makanan penting bagi biota lain terutama udang (Panggabean, 1997).

Wilayah pesisir Indonesia sebagian besar mendapatkan tekanan yang berat dari daratan, tak terkecuali wilayah Semarang. Selain isu kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim dan isu banjir, isu pencemaran di perairan Semarang juga menarik untuk dikaji. Adanya pembangunan Banjir Kanal Timur (BKT),

Banjir Kanal Barat (BKB) dengan tujuan mengatasi banjir, bukan tidak mungkin justru meningkatkan potensi masuknya kontaminan ke perairan Semarang dari daratan.

American Standard for Testing Material mengembangkan sebuah metode pengujian (*bioassay*) untuk menilai kesehatan sedimen pesisir terhadap biota tertentu, seperti bivalvia, fitoplankton dan sebagainya. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *sediment elutriate method*, yaitu pengujian menggunakan air dari bagian atas campuran sedimen air yang telah diendapkan dalam waktu tertentu terhadap mikroalga (ASTM, 2006). *Bioassay* sedimen dapat digabungkan dengan metode lain misal pengukuran kontaminan logam berat dalam sedimen untuk mengevaluasi kesehatan sedimen di suatu lokasi, seperti yang telah dilakukan di Teluk Kelabat, Bangka (Hindarti *et al.*, 2008, Puspitasari dan Hindarti, 2009), di pesisir Cirebon (Puspitasari, 2011a; Puspitasari 2011b) dan di teluk Jakarta (Hindarti *et al.*, 2010).

Oleh karena itu perlu dikembangkan suatu kajian mengenai kualitas perairan Semarang, dalam hal ini difokuskan pada sedimennya, dan dikombinasikan dengan penelitian toksikologi lingkungan. Jika terdapat kandungan bahan toksik yang berbahaya di dalam sedimen, maka pertumbuhan *C. gracilis* akan terganggu yang ditandai dengan adanya penghambatan pertumbuhan dan rata-rata jumlah selnya akan berkurang dibandingkan jumlah sel pada kontrol. Pengaruh sedimen terhadap pertumbuhan diatom secara langsung akan mempengaruhi produktivitas perairan tersebut (Puspitasari, 2011). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengkaji kesehatan sedimen pesisir Semarang dengan menggunakan indikator pertumbuhan diatom, *C. gracilis*.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Koleksi Sedimen

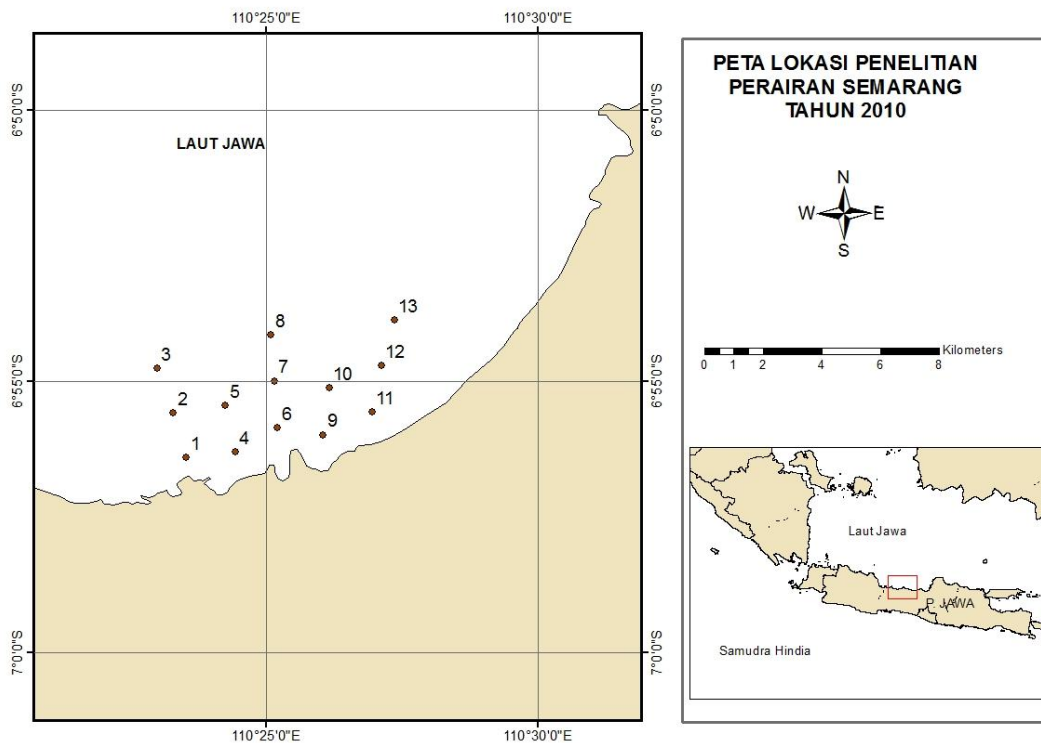
Sampel sedimen diambil dari 13 stasiun di pesisir Semarang (Gambar 1). Penentuan posisi stasiun dengan menggunakan GPS Garmin III Plus. Sampel sedimen diambil menggunakan *Smith Mc-Intyre Grab* 0,05 m² sebanyak 3 kali ulangan untuk setiap lokasi/stasiun. Sampel sedimen dicuplik dari lapisan permukaan dasar laut (kira-kira 0-10 cm) kemudian diambil sedimen lapisan atas setebal 1-5 cm, dikomposit dan dimasukkan dalam botol 1 L untuk uji toksisitas dan 250 g untuk analisa logam berat. Sampel sedimen disimpan dalam suhu 4°C dalam keadaan gelap sampai saat dilakukan analisa (ASTM, 2006).

2.2. Uji Toksik Acuan dan Pengujian Sedimen Terkontaminasi

Untuk mengetahui sensitivitas organisme terhadap toksikan acuan,

diatom diekspos dengan larutan CdCl₂ selama 96 jam dalam kondisi statik dan dilakukan bersamaan dengan pengujian sedimen. Jadi, ada dua set pengujian yang dilakukan yaitu satu set pengujian kadmium sebagai toksikan acuan serta satu set pengujian sedimen terkontaminasi. Pengujian dengan kadmium dimaksudkan untuk melihat kesehatan dan sensitivitas biota yang digunakan sedangkan pengujian sedimen dimaksudkan untuk melihat respon diatom terhadap sedimen yang diujikan.

Kultur murni *C.gracilis* berumur 4 hari diperoleh dari laboratorium Marikultur-Puslit Oseanografi LIPI. Sedimen ditimbang sebanyak 18 gr kemudian diaduk kira-kira 10 detik dengan 900 ml air laut yang sudah disaring dengan kertas saring ukuran 0,45 µm dan disteril dengan autoklaf. Campuran dibiarkan selama 4 jam sampai sedimen mengendap. Pengendapan bertujuan untuk mengendapkan partikel



Gambar 1 . Lokasi penelitian di perairan pesisir Semarang, Agustus 2010.

sedimen seperti lumpur halus yang akan mengganggu saat perhitungan jumlah sel. Lapisan atas (*overlying water*) diambil sebanyak 100 ml untuk uji toksisitas sedimen dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 ml. Teknik ini dikenal dengan “*elutriate*” yaitu mengambil larutan uji bagian atas setelah diaduk dan diendapkan. Larutan kontrol sedimen dan kontrol kadmium disiapkan dan hanya berisi air laut steril saja. Larutan toksikan acuan kadmium disiapkan dengan volume yang sama (100 ml). Kemudian 1 ml larutan kultur *C. gracilis* dengan kepadatan satu juta sel/ml diinokulasikan ke dalam erlenmeyer berisi 100 ml larutan uji, sehingga kepadatan sel menjadi 10,000 sel/ml. Masing-masing perlakuan memiliki 3 ulangan. Lama pemaparan dengan kadmium dan sedimen adalah 96 jam. Titik akhir pengamatan adalah pertumbuhan (jumlah sel) diatom pada perlakuan dibanding dengan kontrol setelah 96 jam yang dihitung dengan *haemocytometer*. Uji dianggap valid apabila jumlah sel pada kontrol mencapai 2×10^5 sel/ml (ACCPMS, 1995; ASTM, 2006).

Nilai Persentase penghambatan/*Inhibition* (I) dan stimulasi (S) dari rata-rata jumlah sel tiap perlakuan (P) dibandingkan dengan rata-rata jumlah sel pada kontrol air laut (K) setelah 96 jam pemaparan dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$\text{Penghambatan(Inhibition)} = \frac{K - P}{K} \times 100\%$$

$$\text{Stimulasi(Stimulation)} = \frac{P - K}{K} \times 100\%$$

Parameter kualitas air yang dipantau selama uji adalah oksigen terlarut yang diukur menggunakan DO meter YSI 55, salinitas menggunakan refraktometer, pH dan suhu menggunakan pH meter Eijkelkamp. Kondisi tes dan

persyaratan minimum yang harus dipenuhi disajikan pada Tabel 1.

2.3. Analisa Logam Berat dalam Sedimen

Sampel sedimen dikeringkan di oven pada suhu $105^{\circ}\text{C} \pm 24$ jam. Sampel kemudian dihaluskan dengan mortar hingga halus dan homogen. Satu gram sampel sedimen tersebut didestruksi dengan HNO_3 , H_2O_2 dan HCl pada suhu 95°C . Larutan disaring dengan kertas saring Whatman no. 41 dan dimasukkan dalam labu ukur 50 ml. Volume larutan sampel ditepatkan menjadi 50 ml dengan penambahan akuades. Sampel siap diukur dengan FAAS (*Flame atomic absorption spectrophotometer*) *SpectrAA-20 Plus Varian* dengan nyala campuran udara-asetilen (USEPA, 1996).

2.4. Analisis Data

Jumlah sel tiap perlakuan dihitung setelah pemaparan 96 jam, kemudian dirata-rata dan dimasukkan pada persamaan 1 dan 2 untuk melihat apakah ada respon stimulasi atau penghambatan pertumbuhan *C.gracilis* pada sedimen perlakuan dibandingkan dengan kontrolnya. Nilai persentase penghambatan yang terjadi dapat dikaitkan dengan faktor konsentrasi logam berat yang diukur dalam sedimen.

Rata-rata jumlah sel hasil perlakuan kadmium, dimasukkan dalam software ICPIN (Norberg-King, 1993) untuk memperoleh nilai IC_{50} 96 jam. Nilai ini akan dianalisa untuk melihat kondisi sensitivitas biota uji serta melihat konsistensi kinerja personel di laboratorium.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengujian dengan Fitoplankton

Syarat sebuah pengujian toksisitas terhadap fitoplankton dianggap valid bila

Tabel 1. Kondisi tes dan persyaratan minimum yang harus dipenuhi untuk pengujian kronik menggunakan fitoplankton (ACCPMS, 1995).

No.	Parameter	Kondisi uji
1.	Tipe uji	Statik (tidak ada penggantian larutan uji selama pengujian dilakukan)
2.	Suhu	27 ± 1 °C
3.	Kualitas penyinaran	Kondisi penyinaran laboratorium
4.	Lama Penyinaran	Penyinaran terus menerus
5.	Ukuran Tabung uji	Erlenmeyer 250 mli
6.	Volume larutan uji	100 ml
7.	Umur stok kultur yang digunakan sebagai inokulum	4-7 hari
8.	Kepadatan awal sel	10,000 sel/ml
9.	Ulangan per perlakuan	3
10.	Pengadukan	Sehari dua kali Erlenmeyer diaduk dengan tangan
11.	Pelarut	Medium pertumbuhan alga non EDTA
12.	Faktor pengenceran	Biasanya 0.5
13.	Durasi pengujian	96 jam
14.	Efek yang diamati	Pertumbuhan (jumlah sel)
15.	Kriteria penerimaan tes (validitas pengujian)	Kepadatan sel pada kontrol 2×10^5 sel/mL

jumlah sel pada kontrol negatif setelah 96 jam pemaparan mencapai $\geq 2 \times 10^5$ sel/ml (ASTM, 2006). Nilai tersebut menunjukkan bahwa fitoplankton dan kondisi pengujiannya layak digunakan sebagai kontrol untuk menganalisa kondisi perlakuan sedimen. Berdasarkan pada syarat tersebut, uji toksisitas sedimen ini valid karena rata-rata jumlah sel *C. gracilis* pada kontrol uji kadmium adalah $5,8 \times 10^5$ sel/ml dan pada kontrol uji toksisitas sedimen $3,1 \times 10^5$ sel/ml.

Nilai IC₅₀- 96 jam yang diperoleh pada pengujian ini sebesar 3,13 mg/l Cd. Nilai ini masih berada dalam kisaran nilai IC₅₀ 96 jam untuk *C. gracilis* yang diperoleh dari penelitian rutin di Laboratorium Ekotoksikologi LIPI yaitu antara $1,74 \pm 0,82$ mg/L Cd (unpublished data). Nilai IC₅₀ ini menunjukkan bahwa pertumbuhan diatom dalam keadaan

normal dan prosedur uji telah dilaksanakan sesuai dengan prosedur standar.

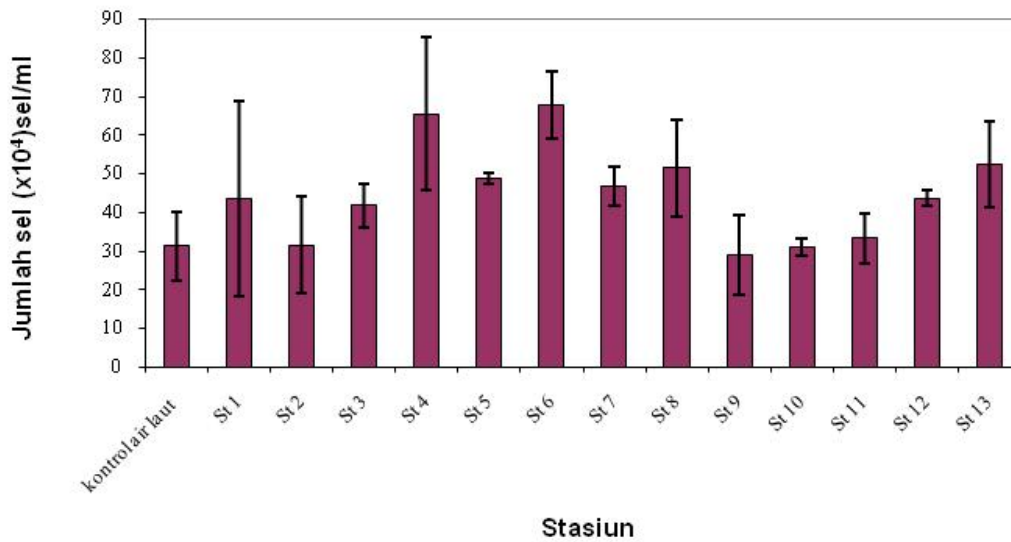
Parameter kualitas air larutan uji kadmium yang diukur pada permulaan uji berkisar antara 25 – 25,1 °C; 6,47 - 6,88 mg/l; 7,55 – 7,71 dan 32 ppt masing-masing untuk suhu, oksigen terlarut, pH dan salinitas (Tabel 2).

Hasil uji toksisitas sedimen terhadap diatom disajikan dalam Gambar 3. Berdasarkan data tersebut dapat dilihat bahwa pertumbuhan diatom di tiap stasiun bervariasi. Rata-rata jumlah sel di sebagian besar stasiun lebih tinggi daripada kontrolnya (Gambar 2).

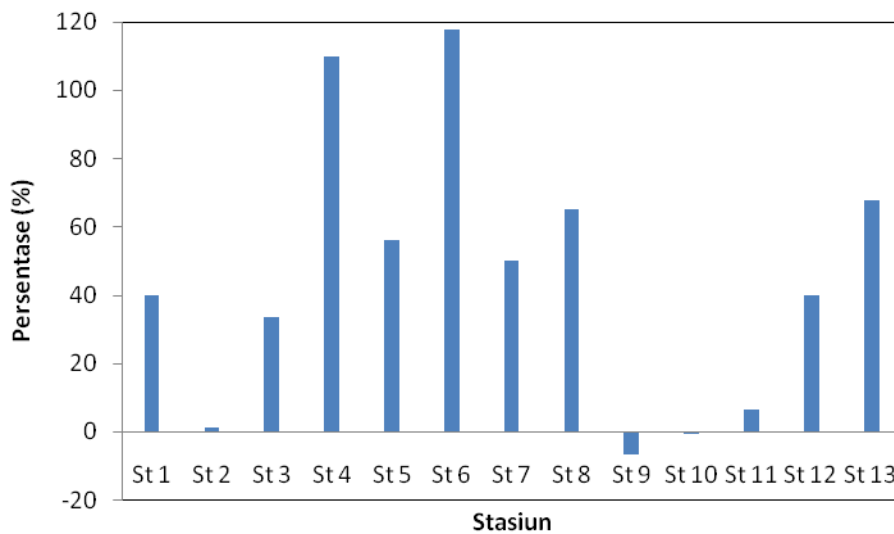
Efek stimulasi (S) dan penghambatan/*Inhibition* (I) sedimen pada tiap stasiun terhadap pertumbuhan diatom, *C. gracilis* dapat dilihat dalam Gambar 3. Sebagian besar sedimen masih menunjukkan efek stimulasi pertumbuhan

Tabel 2. Kisaran parameter larutan uji toksikan acuan kadmium.

Kons. Kadmi- Mium (mg/l)	Oksigen terla- rut (mg/l)	pH	Suhu (°C)	Salinitas
Kontrol	6,47	7,55	25,1	32
0,56	6,80	7,68	25,1	32
1,0	6,79	7,71	25,1	32
1,8	6,88	7,71	25,1	32
3,2	6,82	7,63	25,1	32
5,6	6,78	7,71	25,0	32



Gambar 2. Jumlah sel diatom, *C. gracilis* setelah 96 jam pemaparan dengan sedimen Semarang.



Gambar 3. Pengaruh sedimen pesisir Semarang terhadap pertumbuhan diatom, *C. gracilis* berupa stimulasi pertumbuhan atau penghambatan pertumbuhan. Stimulasi dinyatakan dengan nilai positif sedangkan penghambatan dinyatakan dengan nilai negatif.

kecuali di stasiun 9 dan 10 menunjukkan penghambatan pertumbuhan diatom yang tidak signifikan ($P < 0,05$) bila dibanding dengan kontrol.

Parameter kualitas air larutan uji sedimen yang diukur pada permulaan uji berkisar antara 24,4 - 25 °C; 3,98 - 6 mg/L; 7,54 - 7,69 dan 32 ppt, masing-masing untuk suhu, oksigen terlarut, pH dan salinitas (Tabel 3).

Sebagian besar stasiun sedimen menunjukkan efek stimulasi pertumbuhan *C. gracilis* dibanding kontrol, hanya di dua stasiun (Stasiun 9 dan 10) menunjukkan efek penghambatan yang relatif kecil masih dibawah 20%. Penghambatan pertumbuhan yang terjadi dapat disebabkan faktor kontaminan, kondisi oseanografi maupun faktor internal dari kesehatan individu itu sendiri. Dinamika pertumbuhan ini tentu berubah secara temporal mengikuti perubahan in situ yang terjadi. Secara umum, peningkatan jumlah sel di sebagian besar stasiun sedimen, dapat menjadi indikator bahwa sedimen Semarang masih dalam kondisi baik, artinya fitoplankton

masih dapat tumbuh dan mencukupi kebutuhan konsumen pada taraf tropik di atasnya.

3.2. Analisa Logam Berat dalam Sedimen

Analisa logam berat timbal, kadmium dan tembaga dalam sedimen menunjukkan bahwa logam kadmium dan tembaga masih menunjukkan kondisi alami sedangkan logam timbal menunjukkan ada sedikit peningkatan dengan kondisi kelimpahan alami di alam (Tabel 4). Nilai-nilai kontaminan di daerah Pelabuhan terukur lebih tinggi dari di daerah sekitarnya.

Distribusi logam dalam sedimen sangat dipengaruhi banyak faktor diantaranya adalah ukuran butir sedimen serta kondisi oseanografi. Perairan Semarang diketahui didominasi oleh lanau dan lempung yang tebal (Rositasari *dkk*, 2010). Kondisi butir sedimen ini sangat potensial untuk mengikat partikel kontaminan dalam sedimen.

Analisa kondisi oseanografi menunjukkan bahwa perairan Semarang

Tabel 3. Kisaran parameter larutan uji sedimen.

Stasiun. Pengamatan	Oksigen Terlarut (mg/l)	pH	Suhu	Salinitas
Kontrol	6,00	7,68	24,9	32
St 1	4,00	7,54	24,8	32
2	4,45	7,61	25,0	32
3	5,10	7,63	25,0	32
4	4,60	7,69	24,8	32
5	4,25	7,61	24,7	32
6	4,17	7,61	24,7	32
7	5,15	7,68	24,5	32
8	5,03	7,68	24,6	32
9	4,35	7,69	24,7	32
10	4,60	7,68	24,9	32
11	3,98	7,54	24,9	32
12	4,58	7,64	24,4	32
13	4,68	7,68	24,8	32

merupakan perairan dangkal dengan kedalaman sekitar 1-5 m, kecuali di daerah Pelabuhan dapat mencapai 10 m. Arus yang berpengaruh pada saat penelitian adalah angin musim timur dengan variasi arah timur laut-tenggara (Rositasari *et al.*, 2010). Kondisi perairan yang relatif dangkal dan variasi temporal arus serta angin sangat berpengaruh pada konsentrasi kontaminan terukur di sedimen.

Dilihat dari Tabel 5, kondisi perairan Semarang masih lebih baik dari Teluk Jakarta namun berada di bawah kondisi perairan Cirebon. Kondisi ini berkaitan dengan tingginya aktivitas Pelabuhan dan aktivitas daratan di masing-masing wilayah. Walaupun kondisinya masih lebih baik dari Teluk Jakarta, perlu diwaspadai peningkatan aktivitas di daratan dan kawasan Pelabuhan, yang berpotensi meningkatkan kontaminasi di perairan Semarang.

Tabel 4. Konsentrasi logam berat dalam sedimen (mg/kg) di pesisir Semarang, Agustus 2010.

No	Parameter	Lokasi		
		Banjir kanal timur	Pelabuhan	Banjir kanal barat
1	Pb	10,90–3,85 (12,63)	14,04 –15,62 (14,65)	12,02–17,34 (14,18)
2	Cd	0,060 - 0,099 (0,081)	0,095 – 0,109 (0,101)	0,062 – 0,134 (0,097)
3	Cu	18,26 – 36,15 (27,79)	33,21 – 36,64 (34,37)	25,80 -35,13 (31,29)

Keterangan: nilai dalam kurung merupakan nilai rata-rata

Tabel 5. Perbandingan konsentrasi logam di pesisir Semarang dengan beberapa lokasi di Indonesia.

Logam	Semarang (2010)	Cirebon (2010)	Teluk Jakarta (2008)
Pb	10,9-17,34 (13,69)	7,95-13,51	3,23-57,76
Cd	0,060-0,134 (0,092)	0,49-1,15	0,01-0,28
Cu	18,26-36,64 (30,65)	16,03-28,05	4,79-76,78

Keterangan: nilai dalam kurung menunjukkan nilai rata-rata

IV. KESIMPULAN

Pengujian kronik dari sedimen terkontaminasi dan pengukuran konsentrasi logam berat dapat digunakan untuk menilai kesehatan suatu perairan. Hasil bioassay sedimen dan konsentrasi logam Pb, Cd dan Cu menunjukkan bahwa Perairan Semarang secara umum masih dalam keadaan sehat dan masih mendukung pertumbuhan diatom *C. gracilis* walaupun konsentrasi tembaga di beberapa stasiun menunjukkan peningkatan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini merupakan program Insentif Riset Peneliti dan Perakayasa LIPI tahun anggaran 2010. Penulis mengucapkan terima kasih pada Dra. Ricky Rositasari selaku koordinator program ini, Sdr. Abdul Rozak, Amd, Eston Matondang Amd dan Triyoni Purbonegoro, M. Si atas bantuannya selama penelitian ini berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. 2006. Standard guide for conducting static acute toxicity tests with microalgae. Standard E 1218-04. In: annual book of standards. vol. 11.06 biological effects and environmental fate; biotechnology; water and environmental technology. ASTM International, West Conshohocken, PA. 278-291pp.
- Berard, A. 1996. Effect of organic four solvents on natural phytoplankton assemblages: consequences for ecotoxicological experiments on herbicides". *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 57:183-190.
- Hindarti, D. 2008. Uji toksisitas sedimen dengan diatom planktonik, *Chaetoceros gracilis*. *Oceanologi dan Limnologi di Indonesia*, 34(3): 461-478.
- Hindarti, D., Z. Arifin, R. Puspitasari, and E. Rochyatun. 2008. Sediment contaminants and their toxicity in Kelabat Bay, Bangka Belitung Province, Indonesia. *Mar. Res. in Indonesia*, 33(1):203-212.
- Hindarti, D., R. Puspitasari, Z.A. Arifin. 2010. Preliminary study the response of amphipod, *Grandidierella sp.* to contaminated sediment of Jakarta Bay. *Mar. Res. in Indonesia*, 35(2):31-37.
- Norberg-King, T.J. 1993. A linear interpolation method for sub lethal toxicity: the inhibition concentration (Icp) approach (version 2.0). U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory, Duluth, M.N. Tech. Report 03-93 of the National Effluent Toxicity Assessment Center: 30p.
- Panggabean, L.M.G. 1997. Toxicity of hexavalent chromium and cadmium to green mussels (*Perna viridis*) embryo. Pp X-38-43. In: Vigers, G.A., K.S.Ong, C. McPherson, N. Millson, I. Watson, and A. Tang (eds.). ASEAN marine environmental management: quality criteria and monitoring for aquatic life and human health protection. Proceedings of the ASEAN – Canada Technical Conference on Marine Science (24-28 June 1996), Penang, Malaysia. EVS Environment consultants, North Vancouver and Departement of Fisheries Malaysia. 106-114pp.
- Puspitasari, R. dan D. Hindarti. 2009. Korelasi antara logam berat dalam sedimen dan toksisitasnya terhadap diatom, *Chaetoceros gracilis*. *Oceanologi dan Limnologi di Indonesia*, 35(2):131-149.

- Puspitasari, R. 2011. Aspek toksisitas sedimen pesisir Cirebon terhadap abnormalitas larva kerang hijau. *Perna viridis*. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 37(2): 235-245.
- Puspitasari, R. 2011. Uji toksisitas sedimen Cirebon terhadap pertumbuhan diatom planktonik *Chaetoceros gracilis*. *Segara*, 7(1):57-64.
- Rand, G.M. and S.R. Petrocelli. 1985. Fundamentals of aquatic toxicology: methods and applications. Hemisphere Pub. Corp. New York. 666p.
- Rositasari, R., Y. Witasari., Lestari., R. Puspitasari, dan D. Surinati. 2010. Kajian terhadap lingkungan pesisir Semarang berdasarkan karakteristik sedimen, fisika oseanografi, logam berat kontaminan dan toksisitasnya. Laporan Program Insentif Peneliti dan Perekayasa. Pusat Penelitian Oseanografi LIPI. 41hlm.
- Scarlett, A., S. J. Rowland, M. Canty, E. L. Smith and T.S. Galloway. 2007. Method for assessing the chronic toxicity of marine and estuarine sediment-associated contaminants using the amphipod *Corophium volutator*. *Marine Environmental Research*, 63:457-470.
- USEPA. 1996. Test methods for evaluating solid waste SW-846 methods 3050b, acid digestion of sediments, sludges and soils. USEPA Office of Research and Development. Washington.12p.
- Diterima* : 12 Maret 2014
Direview : 20 Mei 2014
Disetujui : 2 Juni 2014