

Kandungan Logam Berat Hg dan Cd dalam Air, Sedimen dan Kerang Darah (*Anadara granossa*) dengan Menggunakan Metode Analisis Pengaktifan Neutron (APN)

Sri Yulina Wulandari¹⁾, Bambang Yulianto¹⁾, Gunawan Widi Santosa²⁾ dan Ken Suwartimah²⁾

*Program Studi Oseanografi 1), dan Program Studi Ilmu Kelautan 2),
Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro.*

Jl. Prof. Soedharto SH, Tembalang, Semarang. 50275.

Telp. (024)7474698, 085640565065,

Email sriyulinawulandari@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kandungan dan tingkat pencemaran logam berat Hg dan Cd dalam air, sedimen dan kerang darah (*Anadara granossa*) di perairan Morodemak, Banjir Kanal Timur dan Mangkang Semarang. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2004–Januari 2005 dengan metode penelitian yang digunakan adalah Analisis Pengaktifan Neutron (APN). Hasil penelitian kandungan logam berat Hg dan Cd pada ketiga lokasi menunjukkan pola akumulasi yang cenderung sama di stasiun muara dan laut, baik pengamatan dalam sedimen maupun air. Kandungan logam berat Hg dan Cd pada kerang *Anadara granosa* menunjukkan nilai yang bervariasi, namun cenderung dipengaruhi sedimen dan air pada dua media tersebut, terkait dengan sifatnya yang filter feeder dan sessil. Meskipun demikian variasi faktor lingkungan seperti suhu, salinitas, pH, kecepatan arus dan jenis sedimen juga memberikan kontribusi yang cukup penting. Kandungan logam berat Hg dan Cd dalam kolom air di Morodemak, Banjir Kanal Timur dan Mangkang telah melampaui batas yang diperbolehkan, demikian pula kandungan berat Hg pada kerang darah sudah melampaui baku mutu yang ditetapkan.

Kata kunci : Hg, Cd, Air, Sedimen, *Anadara granossa*, metode APN

Abstract

The aims of the research is to analyze the heavy metals concentrations and the pollution level of Hg and Cd in water, sediment and blood mussels (*Anadara granossa*) at Morodemak, Banjir Kanal Timur and Mangkang Rivers. This research was conducted from August 2004 to January 2005 using The Neutron Activation Analysis Method. The results showed that the heavy metals concentrations of Hg and Cd in water and sediment tend to show similar accumulation pattern both on estuary and the sea. While the heavy metals concentrations of Hg and Cd in blood mussels (*Anadara granossa*) show a varied value, which was influenced by the environmental conditions, due to their behaviour as filter feeder and sessile. The environmental factors such as temperature, salinity, pH, current and sediment type also play an important role and contributed significantly to the heavy metals accumulation. The concentrations of Hg and Cd in water at the Morodemak, Banjir Kanal Timur dan Mangkang was higher than standard quality, so does the Hg concentration in blood mussels.

Key words : Hg, Cd, water, sediment, *Anadara granossa*, AAN method.

Pendahuluan

Perairan sungai Banjir Kanal Timur dan Mangkang berada di Semarang, sedangkan perairan sungai Morodemak di Demak. Di sekitar daerah aliran sungai (DAS) tersebut, digunakan sebagai tempat

pemukiman penduduk, aktivitas pertanian dan kawasan industri. Industri yang terdapat di sekitar DAS tersebut antara lain adalah industri tekstil, plastik, percetakan, farmasi, bengkel las, cat, karoseri, keramik, tempat pelelangan ikan, minyak pelumas,

*) Corresponding author

bengkel kendaraan bermotor. Aktivitas industri tersebut sebagian besar membuang limbah padat ataupun cair yang mengandung logam berat ke dalam sungai. Keadaan ini akan menimbulkan pencemaran logam berat pada sungai dan perairan pantai Kelurahan Tanjung Mas dan Kelurahan Mangkang. Pencemaran tersebut berpengaruh terhadap aktivitas pertambakan, pelabuhan, pengambilan hasil laut serta wisata bahari yang berada di sekitar muara sungai-sungai tersebut. Menurut Palar (1994), polutan logam berat dalam badan perairan pada konsentrasi tertentu menjadi sumber racun bagi kehidupan perairan. Efek toksik yang ditimbulkan oleh satu jenis logam berat terhadap semua biota tidak sama, namun kehancuran dari satu kelompok dapat menyebabkan terputusnya mata rantai kehidupan. Pada tingkat selanjutnya, keadaan tersebut dapat menghancurkan tatanan ekosistem perairan. Logam berat merkuri dan cadmium merupakan logam berat non esensial yang bersifat sangat toksik. Akumulasi logam berat tersebut dalam tubuh organisme termasuk manusia dapat menimbulkan keracunan, gangguan kesehatan sampai kematian.

Kerang darah (*Anadara granossa*) merupakan biota yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat. Merupakan organisme yang bersifat *filter feeder* dalam memperoleh makanan dan hidupnya menetap (*sessil*) relatif lama di habitatnya. Di samping itu biota ini mempunyai toleransi yang besar terhadap perubahan lingkungan serta mampu bertahan hidup meskipun mengakumulasi polutan logam berat sehingga biota ini digunakan sebagai bioindikator pencemaran logam berat yang terjadi di lingkungan perairan (Darmono, 1995; Indardjo *et.al.*, 2007; Yusup & Handoyo, 2004; Machreki-Ajmi *et.al.*, 2008a).

Mengingat fungsi ke tiga sungai tersebut sebagai saluran irigasi dan sumber air untuk kegiatan lain seperti pertanian dan pertambakan, maka perlu dilakukan penelitian tingkat pencemaran pada kawasan tersebut.

Materi dan Metode

Sampel air, sedimen dan kerang darah (*Anadara granossa*) diambil dari tiga stasiun pada tiga lokasi di sepanjang pantai Utara Semarang, yaitu perairan Morodemak, Banjir Kanal Timur dan Mangkang (Gambar 1.). Analisis sampel dilakukan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju-Badan Tenaga Nuklir (PPPTM-BATAN) Yogyakarta bidang Tekno Fisika Kimia dengan menggunakan

metode Analisis Pengaktifan Neutron (APN). Metode ini mampu mengidentifikasi berbagai jenis unsur secara bersamaan tanpa merusak sampel dan dapat dilakukan dalam waktu yang relatif singkat (Taftazani, 1996). Secara keseluruhan penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus 2004 – Januari 2005. Analisis kandungan logam berat untuk sampel air dilakukan dengan mengambil 1 ml sampel air dari setiap stasiun, kemudian dimasukkan dalam vial untuk diiradiasi menggunakan suatu sumber neutron ($Eu-152$) selama 12 jam. Hasilnya didinginkan. Selanjutnya sampel air dicacah dengan spektrometer gamma, sampai diperoleh spektrumnya, kemudian dibandingkan antara spektrum sampel, SRM (*Standard Reference Material*) dan spektrum standar untuk menentukan kadar unsur logam berat dalam sampel air tersebut (Susetyo, 1988).

Sampel sedimen yang diambil dari stasiun pengamatan dikeringkan dengan cara diangin-anginkan. Selanjutnya sampel dihaluskan sampai lolos saringan dengan ukuran 100 μm . Sebanyak 0,1 gram sampel sedimen dimasukkan dalam vial polyethylene dan diradiasi dengan menggunakan suatu sumber Neutron ($Eu-152$) bersama-sama dengan SRM 1645 River Sediment selama 12 jam, kemudian didinginkan. Setelah itu sampel sedimen dicacah dengan spektrometer gamma untuk mendapatkan nilai puncak atau spektrumnya. Nilai tersebut dibandingkan dengan SRM dan spectrum standar untuk mengetahui konsentrasi unsur logam berat dalam sampel (Susetyo, 1988).

Adapun untuk sampel kerang, terlebih dahulu diambil dagingnya. Sampel daging kerang tersebut dimasukkan dalam wadah yang berisi nitrogen cair suhu $-180^{\circ}C$ (daging akan mengeras). Setelah mengeras sampel dihaluskan dan dikeringkan selama 2 x 24 jam serta diayak dengan saringan berukuran lolos 100 μm . Sebanyak 0,1 – 0,2 gram sampel daging kerang yang sudah dihaluskan, dimasukkan dalam vial polyethylene selanjutnya dikenakan perlakuan sama dengan contoh air maupun sedimen (Susetyo, 1988).

Penentuan kadar suatu unsur dalam sampel dilakukan dengan menggunakan kaidah perbandingan antara cacah yang dihasilkan standar dengan cacah yang dihasilkan sampel, dengan rumus (Susetyo, 1988) :

$$Cps_1 = Cps_0 \cdot e^{-0,693t/T}$$

$$Cps_0 = Cps_1 \cdot e^{0,693t/T}$$

- $Cps_t = (\text{Netto Cacah})/(\text{Waktu Cacah})$
- Netto = luas puncak serapan cacah total selama waktu pencacahan t
- T = waktu tunda (detik)
- $Cps_0 = \text{aktivitas pada saat 0 detik (Cps)}$
- $Cps_1 = \text{aktivitas pada saat 1 detik (Cps)}$
- t = waktu paruh

Selanjutnya kadar dari unsur-unsur dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Kc = \frac{\text{Cps sampel}}{\text{Cps standar}} \times Ks$$

$Kc = \text{kadar sampel}$
 $Ks = \text{kadar sampel standar}$
 $Cps = \text{Cacah persekon}$

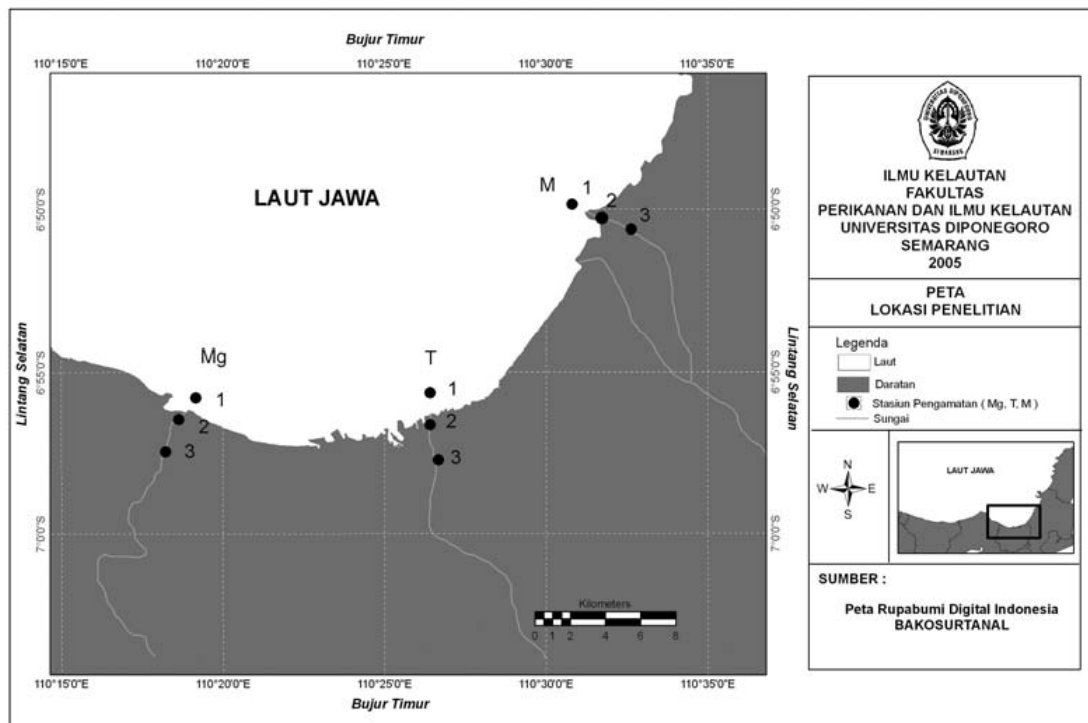
Data yang diperoleh diuji secara statistik menggunakan korelasi Pearson. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui hubungan antar variabel sedimen, air, kerang dan tiga lokasi tersebut. Adapun perhitungan korelasi menggunakan software SPSS (Singih, 2000).

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan penelitian di perairan Morodemak, rata-rata kandungan logam berat Hg tertinggi di sedimen sebesar 0,176 µg/ml (terdapat di stasiun I atau pantai), di air 0,160 µg/ml (di stasiun I atau pantai) dan di kerang *Anadara granosa* sebesar 1,334 µg/ml. Di perairan Banjir Kanal Timur, rata-rata kandungan logam berat Hg tertinggi sebesar 0,218 µg/ml terdapat dalam sedimen pada stasiun I atau pantai, di air sebesar 0,169 µg/ml terdapat pada stasiun I atau pantai, di kerang sebesar 0,583 µg/ml. Di perairan Mangkang, rata-rata kandungan logam berat tertinggi sebesar 0,115 µg/ml terdapat dalam sedimen pada stasiun pantai, di air sebesar 0,172 µg/ml terdapat pada stasiun pantai, di kerang sebesar 3,923 µg/ml pada stasiun pantai (Tabel 1).

Kadar logam berat Hg baik dari lokasi penelitian perairan Morodemak, Banjir Kanal Timur maupun Mangkang, diketahui tertinggi terdapat dalam sampel kerang *Anadara granosa*. Hal ini disebabkan karena proses akumulasi dan absorpsi oleh kerang terhadap logam berat Hg dari sedimen dan kolom air.

Sesuai dengan karakteristik kerang sebagai biota *filter feeder* dan *sessil* (menetap dalam waktu



Gambar 1. Lokasi Penelitian Perairan Morodemak (M), Banjir Kanal Timur (T) dan Mangkang (Mg).

lama), maka logam berat Hg yang terdapat dalam sedimen dan air akan masuk ke dalam tubuh kerang baik melalui makanan (plankton) atau melalui air dan sedimen yang terserap ke dalam tubuh kerang. Kadar logam Hg di lokasi Morodemak pada sedimen dan air, berturut-turut tertinggi pada stasiun I, II kemudian III. Hal ini disebabkan pengaruh fisika-kimia perairan. Berturut-turut suhu pada stasiun I, II, III adalah 27,8°C; 27,3°C; 30,2°C dengan salinitas 35,67; 32,33; 26,67 ‰ dan pH 9,53; 6,67; 9,46. Suhu pada stasiun I yang lebih tinggi akan meningkatkan pembentukan ion logam berat, sehingga meningkatkan proses pengendapan yang berakibat pada penyerapan logam berat pada sedimen (Hutagalung, 1984). Salinitas yang tinggi menyebabkan peningkatan pembentukan ion klorida, yang berakibat pada penurunan konsentrasi ion logam berat pada perairan karena bereaksinya ion logam tersebut dengan ion klorida (Mance, 1987). Kondisi perairan relatif normal ditinjau dari pH yang berkisar antara 6 – 9. Nilai pH yang rendah akan menyebabkan logam lebih mudah terlarut (Palar, 1994).

Di Banjir Kanal Timur, kadar Hg pada sedimen dan air ditemukan lebih tinggi pada perairan pantai dibandingkan pada muara dan sungai. Hal ini disebabkan pantai merupakan titik akumulasi logam Hg yang terbawa dari muara dan sungai. Suhu terukur pada stasiun I adalah 29°C, stasiun II sebesar 28,16°C

dan 26°C pada stasiun III. Perubahan suhu akan mempengaruhi pembentukan ion-ion logam berat. Salinitas terukur pada stasiun I, II, III berturut-turut 35; 30,6; 25 ‰. Salinitas perairan berkaitan dengan suhu perairan dalam menentukan tingkat bioakumulasi dalam perairan. Pada salinitas rendah akumulasi akan meningkat, karena pada salinitas tinggi menyebabkan konsentrasi logam berat berkurang (Suryono, 2006). Dalam hal ini partikel organik membentuk gumpalan sehingga akan mempercepat pengendapan logam berat dan memperlambat proses bioakumulasi pada organisme (Indardjo *dkk.*, 1997; Yusup & Handoyo, 2004; Suryono, 2006; Yap *et al.*, 2007; Maslukah, 2008; Ruiz-Fernandez *et al.*, 2009). Derajat keasaman atau pH yang terukur di lokasi ini pada stasiun I, II, III adalah 6,8; 6,5; 6,3. Derajat keasaman memegang kontrol terhadap kelarutan dan konsentrasi logam dalam perairan. Pengendapan logam berat pada sedimen di stasiun III cenderung menurun. Pada kondisi pH yang rendah, logam berat cenderung terlarutkan (Mance, 1987; Robinson & Roesijadi, 1994; La Valle *et al.*, 1999; Astudillo *et al.*, 2005; Mubiana & Blust, 2006; Metian *et al.*, 2008).

Kadar logam berat Hg pada sedimen dan air di lokasi Mangkang pada stasiun I, II, III memiliki variasi angka yang sama dengan dua lokasi lainnya (Morodemak dan Banjir kanal Timur). Dari ketiga lokasi penelitian, kadar logam berat Hg di dalam

Tabel 1. Rata-rata Kandungan Logam Hg dan Cd (µg/ml) dalam Sedimen, Air dan Kerang (*Anadara granosa*) di lokasi perairan Morodemak, Banjir Kanal Timur dan Mangkang.

Lokasi	Materi	Hg (µg/ml)			Cd (µg/ml)		
		I	II	III	I	II	III
Morodemak	Sedimen	0,176	0,147	0,142	1,372	1,798	1,340
	Air	0,160	0,142	0,116	0,011	0,007	0,008
	Kerang	1,334			3,441		
Banjir Kanal Timur	Sedimen	0,218	0,202	0,198	3,094	2,934	2,591
	Air	0,169	0,155	0,108	0,208	0,019	0,023
	Kerang	0,583			16,770		
Mangkang	Sedimen	0,115	0,097	0,082	2,065	1,076	0,116
	Air	0,172	0,124	0,115	0,011	0,004	0,009
	Kerang	3,923			2,206		

Keterangan : stasiun I (pantai), stasiun II (muara), stasiun III (sungai)

kerang tertinggi ditemukan di lokasi Mangkang. Hal ini disebabkan selain pengaruh suhu, pH, salinitas juga karena kondisi perairan Mangkang lebih tenang dibandingkan lokasi lainnya. Di samping itu kecepatan arus yang lebih rendah (0,002 m/detik) dibandingkan kecepatan arus di perairan Morodemak dan Banjir Kanal Timur, menyebabkan logam berat lebih banyak terendapkan dalam sedimen, sehingga akumulasi dalam kerang menjadi lebih tinggi. Kandungan logam berat Hg dalam kerang darah dari lokasi Morodemak dan Mangkang telah melampaui batas yang ditentukan Direktur Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan sekarang Badan Pengawasan Obat dan Makanan melalui keputusan Dirjen POM no. 03725/B/SK/VII/89, yaitu sebesar 0,5 ppm. Kandungan logam berat Hg dalam air dari seluruh lokasi penelitian berkisar antara 0,108-0,172 µg/ml atau ppm. Angka sebesar itu ternyata sudah melampaui baku mutu air limbah menurut ketentuan MEN LH No 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut. Baku mutu air laut tentang konsentrasi Hg untuk keperluan wisata bahari ditetapkan sebesar 0,002 mg/l. Untuk perairan pelabuhan sebesar 0,003 mg/l dan untuk biota laut sebesar 0,001 mg/l.

Rata-rata Kandungan Cd dalam sampel sedimen, air dan kerang yang diambil dari lokasi Morodemak baik pada stasiun I (pantai), II (muara) maupun III (sungai) diketahui tertinggi pada sampel kerang (Tabel 1.). Hal ini disebabkan absorpsi oleh kerang dari air dan sedimen. Kadar Cd dalam sedimen pada stasiun II (muara) lebih tinggi dibandingkan stasiun I (pantai) dan III (sungai). Hal ini diduga dipengaruhi oleh pH yang terukur pada stasiun II yang lebih rendah dibandingkan dengan dua stasiun lainnya. Di lokasi Banjir Kanal Timur, diketahui kadar logam berat Cd tertinggi terdapat dalam kerang. Kerang *Anadara granosa* hanya ditemukan pada stasiun I (pantai). Data parameter fisika-kimia yang terukur di lokasi ini sama untuk logam berat Hg. Temperatur tertinggi pada stasiun I, disusul stasiun II dan III. Untuk logam Cd, akumulasi logam tersebut pada biota menjadi lebih tinggi apabila berada pada salinitas tinggi (Mance, 1987; Robinson & Roesijadi, 1994; La Valle et al., 1999; Yusuf & Handoyo, 2004; Astudillo et al., 2005; Mubiana & Blust, 2006; Metian et al., 2008; Machreki-Ajmi et al., 2008a). Hal ini terlihat dari kadar logam berat Cd dalam sedimen dan air pada stasiun I jauh lebih tinggi dibandingkan stasiun II dan III. Di lokasi Mangkang, kadar Cd tertinggi terukur pada kerang. Hal ini disebabkan sifat kerang sebagai biota

yang hidupnya menetap, dan merupakan biota *filter feeder* (Darmono, 1995). Kadar Cd dalam sedimen diketahui tertinggi pada stasiun I dibandingkan dua stasiun lainnya, karena adanya perbedaan nilai faktor fisika-kimia yang terukur. Di lokasi ini, baik suhu, pH dan salinitas tertinggi pada stasiun I diikuti stasiun II dan III. Kandungan logam berat Cd dalam air dari seluruh lokasi penelitian berkisar antara 0,004-0,208 µg/ml atau ppm. Kadar Cd di lokasi Banjir Kanal Timur telah melebihi ketentuan dari MEN LH No. 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut. Untuk keperluan wisata bahari, baku mutu untuk logam Cd sebesar 0,02 mg/l, untuk perairan pelabuhan sebesar 0,01 mg/l serta untuk biota laut sebesar 0,001 mg/l.

Dari hasil perhitungan korelasi, menunjukkan hubungan antara kadar Hg pada sedimen dengan kadar Hg pada air sebesar 0,322. Kadar Cd pada sedimen dengan kadar Cd pada air sebesar 0,832. Hubungan antara kadar Hg pada sedimen dengan kadar Hg pada kerang sebesar 0,916, sedangkan untuk Cd sebesar 0,831. Nilai tersebut signifikan ($p < 0,01$) dengan keseksamaan 99%. Adapun hubungan antara kadar Hg pada air dengan kadar Hg pada kerang sebesar 0,997, sedangkan untuk Cd sebesar 0,996. Nilai tersebut signifikan ($p < 0,05$) dengan keseksamaan 95%.

Kesimpulan

Kandungan logam berat Hg dan Cd pada sedimen dan air di ketiga lokasi penelitian menunjukkan akumulasi yang cenderung sama. Adapun kandungan logam berat Hg dan Cd pada kerang *Anadara granosa* menunjukkan nilai yang bervariasi, karena adanya pengaruh kandungan logam berat pada media air dan sedimen. Berdasarkan keputusan MEN LH RI No 51 Tahun 2004 tentang pedoman penetapan baku mutu air laut untuk biota air, wisata bahari, perairan transportasi dapat dikatakan bahwa kandungan logam berat Hg dan Cd dalam kolom air di perairan Morodemak, Banjir Kanal Timur dan Mangkang telah melampaui batas yang diperbolehkan. Menurut keputusan Dirjen POM No 03725/B/SK/VII/89 tentang batas maksimum polutan logam dalam makanan, bahwa kadar logam berat Hg yang terdapat dalam kerang *Anadara granosa* dari ketiga lokasi penelitian tersebut telah melampaui baku mutu yang ditetapkan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Sdr. Beni Ardhan dan pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang banyak terlibat dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Astudillo, R., I.E. Yen & I. Bekele, 2005. Heavy metals in sediments, mussels and oysters from Trinidad and Venezuela. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol.)* 53(1) : 43-51
- Darmono, 1995. Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup. UI Press Jakarta, 112 hal.
- Hutagalung, H.P. 1984. Logam Berat dalam Lingkungan Laut. *Oseana*, Vol. IX, No. 4. Puslitbang Oseanologi – LIPI. Jakarta. Hal 11-20
- Indardjo, A, M. Yusuf & B. Mugijana, 1997. Korelasi Kandungan Logam Berat dalam Sedimen dengan Struktur Komunitas Polichaeta di Muara Kali Semarang, Kodia Semarang. *Ilmu Kelautan*. II (8) : 11-18
- La Valle, P.D., A. Brooks & V. Chris Lakan, 1999. Zebra Mussels Wastes and Concentrations of Heavy Metals on Shipwrecks in Western Lake Erie. *J. Great Lakes Res.* 25(2) : 330-338
- Machreki-Ajmi, M., I. Ketata., R. Ladhari-Chaabouni & A. Hamza-Chaffai, 2008. The effect of in situ cadmium contamination of some biomarkers in *Cerastoderma glaucum*. *Ecotoxicology* 17 : 1-11.
- Mance, G. 1987. Pollution Threat of Heavy Metals in Aquatic Environments. Elsevier Applied Science. England. 372 hal.
- Masluhah, L., 2008. Konsentrasi Pb, Cu, Zn Terlarut di Muara Sungai Banjir Kanal Barat, Semarang dan Pola Sebarannya terhadap Salinitas dan Padatan Tersuspensi Total. *Ilmu Kelautan* 13(2) : 111-119
- Metian, M., M. Warnau., R.P. Cosson., F. Oberhansli & P. Bustamante., 2008. Bioaccumulation and Detoxification processes of Hg in the King Scallop *Pecten maximus* : fields and laboratory investigations. *Aquatic Toxicology*. 90(3):204-213
- Mubiana, V.K. & R. Blust. 2006. Metal contents of marine mussels from Western Scheldt Estuary and nearby protected Marine Bay, the Netherland : impact of past and present contamination. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 77(2): 203-210
- Palar, H. 1994. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. PT Rineka Cipta IKAPI Jakarta. 152 hal.
- Robinson, WE & Roesijadi. 1994. Metal Regulation in Aquatic Animal: Mechanism of Uptake, Accumulation and Release. *in* Donald C. Markinsand Garry K. Olander. *Aquatic Toxicology Molecular, Biochemical and Celular Perspectives*, Editor Lewis Publisher. London. 228p.
- Ruiz-Fernandez, A.C., M. Frignani, C. Hillaire-Marcel, B. Ghaleb, M.D. Arvizu, J. R. Raygoza-Viera, & F. Paez-Cosuna. 2009. Trace Metal (Cd, Cu, Hg and Pb) Accumulation Recorded in the Intertidal Mudflat Sediments of Three Coastal Lagoons in the Gulf of California, Mexico. *Estuaries and Coasts*. 32:551-564
- Singgih, S. 2000. Latihan SPSS Statistik Parametrik. PT Elex Media Komputindo Kelompok Gramedia. Jakarta. 199 hal.
- Suryono, C. A. 2006. Bioakumulasi Logam Berat melalui Sistem Jaringan Makanan dan Lingkungan pada Kerang Bulu *Anadara inflata*. *Ilmu Kelautan*. 9 (1) : 1-9
- Susetyo, W. 1988. Spektrometri Gamma dan Penerapannya dalam Analisis Pengaktifan Neutron. Gadjah Mada University Press Yogyakarta. 172 hal.
- Taftazani A., Sumining & Muzakky. 2003. Evaluasi Sebarab Logam Hg, Cd, Cr dan Co dalam Cuplikan air, Sedimen, dan Eceng Gondok di Lokasi Perairan Surabaya III. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir. P3TM-BATAN. Yogyakarta hal 30-38.
- Yap. C.K., A. Ismail, S.G. Tan, H. Omar & J. Koyama. 2007. Tolerance of Inorganic Mercury on *Perna viridis* : Laboratory Studies of Its Accumulation, Depuration and Distribution. *J. Appl. Sci. Environ. Manage.* 11(3):119-125
- Yusup, M & G. Handoyo, 2004. Dampak Pencemaran terhadap Kualitas Perairan dan Strategi Adaptasi Organisme Makrobenthos di Perairan Pulau Tirangcawang, Semarang. *Ilmu Kelautan*. 9 (1) : 1-9