

KONSENTRASI LOGAM BERAT PADA MAKROFAUNA BENTIK DI KEPULAUAN KANGEAN, MADURA

Aunurohim*, Gilles Radenac**, Denis Fichet**

* Program Studi Biologi FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Indonesia; aunurohim@bio.its.ac.id

** Laboratoire Biologie et Environnement Marine (LBEM) Université de La Rochelle, France

ABSTRACT

*Study of bioaccumulation of heavy metal at species of macrofauna benthic in Kangean's archipelago, Madura have been done at February 2004. This study was conducted in the effort data base compiling bioaccumulation of heavy metal, especially in Indonesia. As one of part of "Mussel Watch" program what have been executed by cleft of world angle. Kangean's archipelago has been selected because its situation was very cloistered and far from modern industrial activity, and also inexistence of data about heavy metal's accumulation at macrofauna benthic. Sampling has been done in 2 station around island Arjasa (subdivision Arjasa), precisely in Erreng at 6°53'00" S and 115°14'26" E and Bilis-Bilis at 6°50'45" S and 115°14'54" E. Sampling has been conducted by using method of direct collection, and then treated in laboratory to analysis by AAS Spectra AA 250 plus of method flame. Species of *Nassarius globosus*, *Anadara Scapha* (big) and *Saccostrea cucullata* accumulate highest metal of Cu, Cd and Zn (in successively) 192,53 ± 154.65 µg/g dry weight, 13.30 ± 1.55 µg/g dry weight, and 1816.02 ± 367.28 µg/g dry weight.*

Key words: bioaccumulation of heavy metal, macrofauna benthic, Kangean's archipelago Madura

PENDAHULUAN

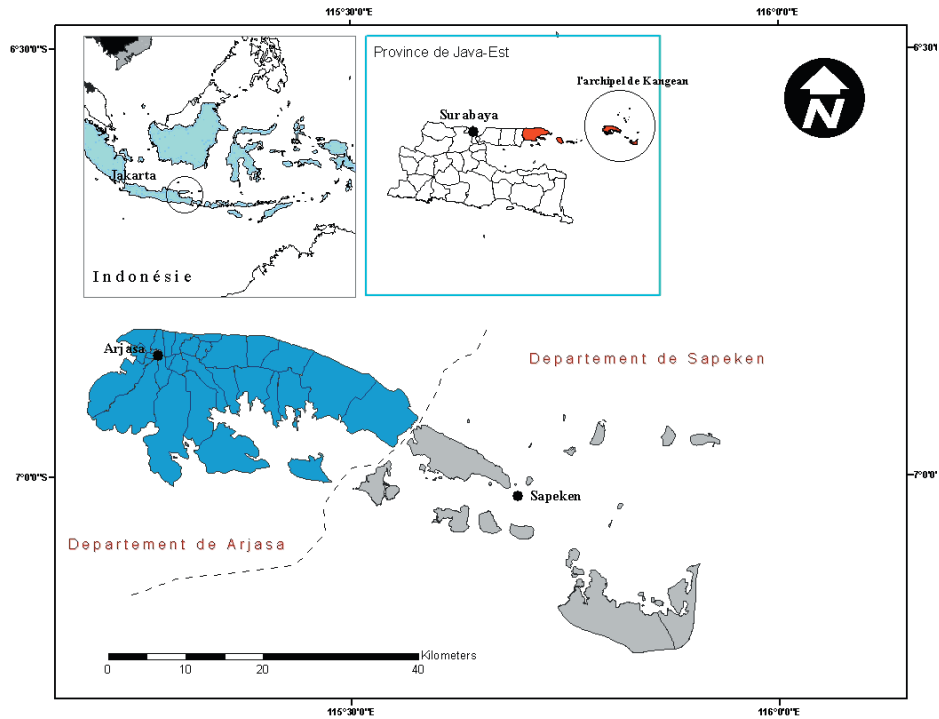
Studi kontaminasi logam berat pada ekosistem intertidal (sedimen, air dan makrofauna benthik) di daerah beriklim sedang dan tropis telah banyak dipelajari. Menurut O'Connor, *et al.* (1991) dalam Breau (2003), dibandingkan di daerah beriklim sedang, studi kontaminasi logam berat di daerah tropis relatif sangat sedikit dan jarang dilakukan. Studi kontaminasi logam berat pada makrofauna benthik (*mussel watch program*) merupakan salah satu kegiatan biomonitoring yang paling dianjurkan pada daerah tropis (Philips, 1976; Haynes, *et al.*, 1997; Breau, 2003), sehingga informasi data dasar tentang pencemaran logam berat di daerah tropis dapat dipantau.

Beberapa penelitian tentang kontaminasi logam berat di daerah beriklim sedang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu. Dan spesies makrofauna benthik merupakan salah satu bioindikator terbaik untuk mengetahui tingkat kontaminasi logam berat pada suatu daerah. Beberapa makrofauna benthik seperti genus *Mytilus* sp. (Chafik *et al.*, 2001; Kalimoussi *et al.*, 2001; Haynes *et al.*, 1997; Chou *et al.*, 2003), dan amphipode *Talitrus saltator* (Rainbow *et al.*, 1998; Ugolini *et al.*, 2004) merupakan dua dari beberapa spesies makrofauna benthik yang sering digunakan sebagai bioindikator logam berat.

Kepulauan Kangean yang terletak sekitar 120 kilometer di bagian Timur dari Pulau Madura merupakan salah satu kepulauan yang relatif belum diintervensi oleh kegiatan industri skala modern karena letaknya yang sangat jauh tersebut (Anonim, 1999). Lebih lanjut dijelaskan bahwa Kepulauan Kangean terbagi atas 2 bagian atau subdivisi, yaitu subdivisi Arjasa yang mempunyai luas 453 km² dan terdiri atas 20 pulau, dengan hanya 6 pulau yang ditempati dan subdivisi Sapeken, yang mempunyai luas 86 km² dan terdiri atas puluhan pulau kecil sementara hanya 10 pulau yang ditempati oleh penduduk. Kegiatan utama masyarakat sekitar subdivisi Arjasa adalah sebagai petani dan subdivisi Sapeken sebagai nelayan (Gambar 1).

Beberapa penelitian di bidang biologi telah beberapa kali dilakukan di kepulauan ini, dan yang tersaris dengan baik adalah penelitian di sekitar Pulau Mamburit (pulau kecil yang dekat dengan pulau utama di subdivisi Arjasa) tentang pengelolaan terumbu karang (Prasetijo, 2001). Sementara, penelitian tentang kontaminasi logam berat, terkhusus pada spesies makrofauna benthik belum ditemukan.

Penelitian ini merupakan salah satu bagian dari proyek Kangean yang dilakukan oleh Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dan Université de La Rochelle, Prancis dalam rangka kemitraan penelitian bersama pada multidisiplin ilmu.



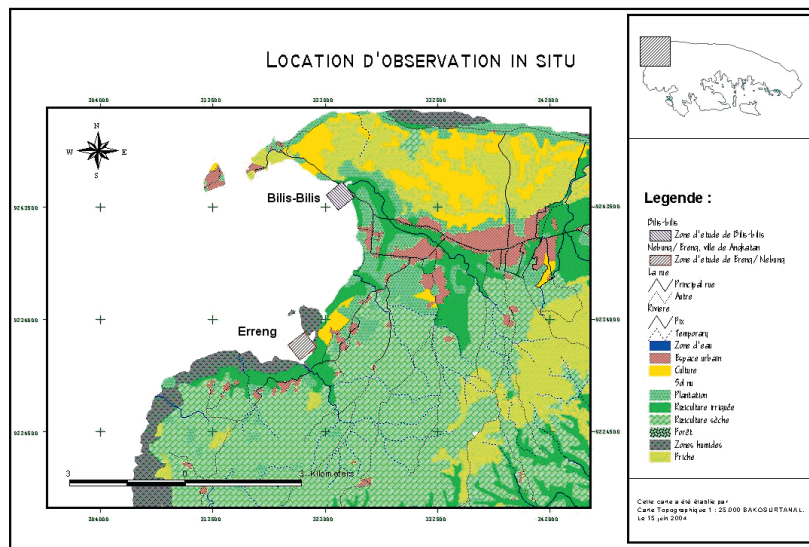
Gambar 1. Peta lokasi Kepulauan Kangean dalam peta administrasi kabupaten Sumenep, Madura

BAHAN DAN CARA KERJA

Lokasi Sampling

Lokasi sampling masih terfokus di subdivisi Arjasa yang relatif merupakan pintu masuk dari jalur transportasi

pelabuhan Kalianget Sumenep dengan Kepulauan Kangean. Sampling dilakukan di 2 stasiun di sekitar Pulau Arjasa (pulau utama di subdivisi Arjasa), tepatnya di Erreng pada 6° 53' 00" S dan 115° 14' 26" E dan Bilis-Bilis pada 6° 50' 45" S dan 115° 14' 54" E (Gambar 2).



Gambar 2. Peta lokasi penelitian (Bilis-Bilis dan Erreng) di pulau Arjasa (subdivisi Arjasa)

Sampling

Sampling dilakukan pada bulan Februari 2004 pada saat musim hujan, dan dilakukan dengan pemungutan langsung dengan tangan pada sekitar lokasi penelitian pada saat surut (Breau, 2003). Semua spesies makrofauna benthik (terutama dari kelas Bivalvia dan Gastropoda) yang ditemukan (yang masih hidup) diambil seluruh bagian tubuhnya dan dikumpulkan untuk kemudian diidentifikasi di laboratorium. Sementara itu, cangkang dikumpulkan dalam tempat yang berbeda untuk digunakan sebagai bahan identifikasi dan pengukuran biometrik (khusus untuk spesies tertentu). Identifikasi sampel menggunakan bantuan dari buku "Compendium of Seashells" dari Abbot and Dance (1992).

Perlakuan pada Sampel (di Laboratorium)

Sampel yang telah diperoleh dipersiapkan untuk dilakukan uji analisis logam berat. Untuk sampel yang bercangkang seperti bivalvia dan gastropoda, maka cangkang dipisahkan dari organismenya dan untuk sampel yang tidak bercangkang dapat langsung diperlakukan.

Organisme yang telah dipisahkan dari cangkangnya ditimbang sebagai berat basah. Kemudian dimasukkan dalam botol yang tahan panas untuk dilakukan proses pengeringan dalam oven 60 °C selama minimal 2 hari sampai didapatkan berat yang konstan (dehidrasi).

Sampel yang telah kering kemudian dihomogenisasikan dengan mortir keramik sampai didapatkan dalam bentuk bubuk. Kemudian disimpan dalam botol plastik kering untuk dipersiapkan dalam tahap atau proses mineralisasi.

Pada saat proses mineralisasi akan dilakukan, sampel kering ditimbang sekitar 300 mg (d disesuaikan dengan batas berat minimal yang dapat dideteksi oleh "Atomic Absorption Spectrophotometer" ~ AAS) pada tiap-tiap sampel, dan ditempatkan pada gelas Beker 100 ml (Pigeot, 2001). Sampel yang telah siap kemudian dibawa ke ruang asam untuk dilakukan proses mineralisasi dengan memberikan HNO₃ 14N sebanyak 5 ml dan menempatkannya pada "teflon bomb" pada suhu sekitar 100–150 °C sekitar 2–3 hari sampai diperoleh endapan warna putih. Sampel yang telah kering kemudian ditambahkan lagi dengan 10 ml HNO₃ 0,3 N dan disimpan dalam botol plastik untuk kemudian disimpan dalam refrigerator dengan suhu sekitar 4 °C sampai siap untuk dilakukan analisis dengan AAS Varian AA 250 Plus. Sampel kontrol dan sampel referensi juga dilakukan bersamaan dengan sampel utama. Sampel kontrol sebagai pembandingan dan sampel referensi sebagai penanda untuk memberikan informasi bahwa proses mineralisasi yang telah dikerjakan sudah sesuai dengan

prosedur dan berjalan dengan baik. Untuk sampel referensi digunakan DOLT-3 (Dogfish Liver Certified Reference Material for Trace Metal) yang direkomendasikan oleh *Conseil National de Recherche de Canada*. Nilai DOLT-3 pada setiap logam berat pada saat dilakukan pengukuran masih dalam batas nilai sertifikasi.

Sampel yang telah siap kemudian dianalisis kadar logam berat Cu, Cd, dan Zn dengan menggunakan AAS Spectra AA 250 Plus metode *flame*.

Analisis Data

Data yang diperoleh diolah dengan menggunakan program statistik Minitab versi 13 (Fichet, 1997). Sebelumnya dilakukan terlebih dahulu verifikasi variasi homogenitas pada data (test Bartlett) dan tes distribusi normal (test Anderson-Darling). Data yang menunjukkan perbedaan secara signifikan dianalisis dengan menggunakan *ANOVA one way* dengan derajat ketelitian $p < 0,05$.

HASIL

Dari hasil identifikasi spesies di kedua stasiun diperoleh data sebagaimana tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesies yang diperoleh di kedua stasiun penelitian

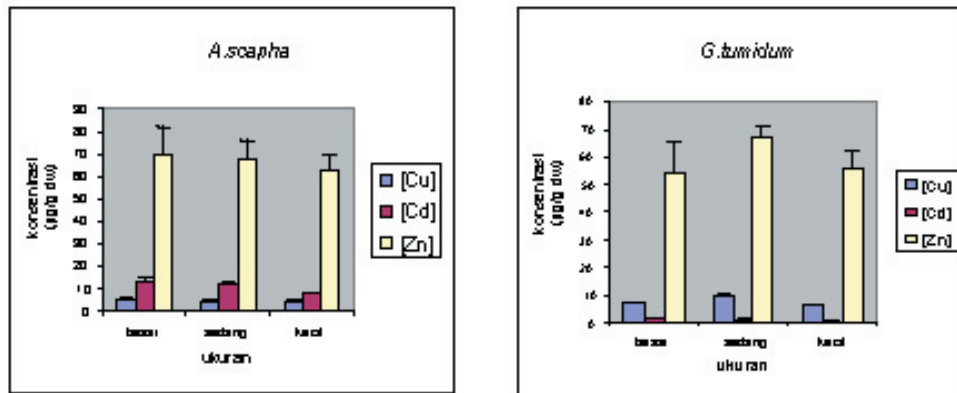
Stasiun	Spesies	Keterangan*
Erreng	<i>Anadara scapha</i>	3 ukuran besar
	<i>Gafrarium tumidum</i>	3 ukuran besar
	<i>Littorina scabra</i>	1 ukuran besar
	<i>Polinices</i> sp.	1 ukuran besar
Bilis-bilis	<i>Gafrarium tumidum</i>	1 ukuran besar1
	<i>rochus niloticus</i>	1 ukuran besar
	<i>Nassarius globosus</i>	1 ukuran besar
	<i>Saccostrea cucullata</i>	1 ukuran besar
	<i>Conus magus</i>	1 ukuran besar
	<i>Archaster typicus</i>	1 ukuran besar
	<i>Cerithium</i> sp.	1 ukuran besar

Keterangan: *ukuran besar didasarkan atas banyaknya spesies yang ditemukan di lokasi sehingga perlu dilakukan pembagian menjadi sampai 3 ukuran besar

Dari kedua stasiun tersebut, spesies *Anadara scapha* dan *Gafrarium tumidum* merupakan spesies yang ditemukan melimpah dan terdiri atas beberapa ukuran besar. Oleh karena itu, diputuskan untuk melakukan pembedaan ukuran besar pada kedua spesies tersebut.

Studi Biometrik *Anadara scapha* dan *Gafrarium tumidum*

Karena abundansi kedua spesies yang melimpah, maka kedua spesies tersebut dibagi atas 3 kelas ukuran yang berbeda (besar, sedang, dan kecil). Untuk mengetahui



Gambar 3. Konsentrasi rerata logam Cu, Cd, dan Zn pada *A. scapha* dan *G. tumidum* menurut kelas ukuran

bahwa pembagian tersebut bersifat tidak signifikan atau homogen, maka dilakukan uji ANOVA pada tiap-tiap ukuran besar. Hasil uji disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. ANOVA one way untuk tiap ukuran pada spesies *Gafrarium tumidum**

Kelas ukuran	repl	n	Lebar rata-rata cangkang (mm)	F	P
besar	1	6	31,240	1,11	0,354
	2	6	30,437		
	3	6	30,155		
sedang	1	6	25,727	1,45	0,266
	2	6	26,433		
	3	6	25,227		
kecil	1	6	19,930	0,27	0,766
	2	6	20,513		
	3	6	20,715		

Keterangan: *hanya *G. tumidum* yang tercover n = jumlah spesies.

Dari Tabel 2, diketahui bahwa semua nilai $P > 0,05$ yang berarti tidak signifikan, dan dapat diartikan bahwa replikasi tersebut di atas bersifat homogen, dengan kata lain pembagian atas ukuran atau biometrik untuk ketiga ukuran tersebut sudah benar.

Efek Ukuran terhadap Kemampuan Mengakumulasi Logam Berat

Masih terkait dengan spesies *G. tumidum* dan *A. scapha* yang terbagi atas 3 ukuran, diketahui bahwa masing-masing ukuran besar memberikan data akumulasi logam berat sebagaimana tertera pada Gambar 3.

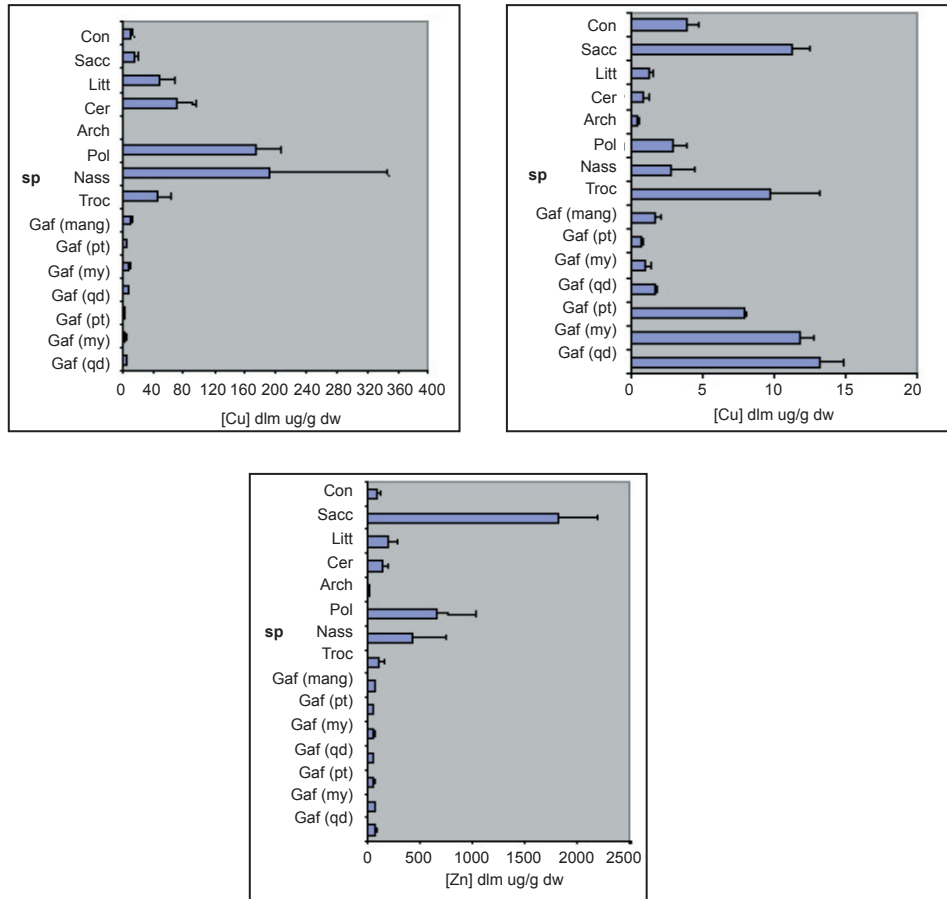
Pada Gambar 3 ditunjukkan bahwa, pada *A. scapha*, spesies berukuran besar mengakumulasi logam berat (Cu,

Cd, dan Zn) lebih besar dibandingkan yang berukuran sedang dan kecil. Sedangkan pada *G. tumidum*, spesies yang berukuran sedang yang mengakumulasi logam lebih besar dibandingkan yang berukuran besar dan kecil (kecuali untuk logam berat Cd yang lebih kecil dibandingkan yang berukuran lebih besar; tetapi masih lebih tinggi dibandingkan yang berukuran kecil). Sedangkan logam Zn diakumulasi sangat tinggi pada kedua spesies dan berbagai ukuran. Hal ini disebabkan logam Zn merupakan logam berat esensial yang sangat dibutuhkan oleh organisme dalam aktivitas enzim dalam proses metabolisme (Chiffolleau, *et al.*, 2001).

Akumulasi Logam Berat pada Semua Spesies Makrofauna Benthik

Untuk akumulasi logam berat pada keseluruhan spesies makrofauna benthik yang ditemukan di kedua lokasi penelitian ditunjukkan pada grafik berikut (Gambar 4).

Gambar 2 menunjukkan bahwa akumulasi logam Cu tertinggi ditemukan pada spesies *Nassarius globosus* dengan $192,53 \pm 154,65 \mu\text{g/g}$ berat kering dan terendah pada spesies *Archaster typicus* dengan $1,23 \pm 0,14 \mu\text{g/g}$ berat kering. Sedangkan akumulasi logam Cd tertinggi ditemukan pada spesies *A. scapha* (besar) dengan $13,30 \pm 1,55 \mu\text{g/g}$ berat kering dan terendah pada *Archaster typicus* dengan $0,51 \pm 0,14 \mu\text{g/g}$ berat kering. Dan akumulasi logam Zn tertinggi ditemukan pada spesies *Saccostrea cucullata* dengan $1816,02 \pm 367,28 \mu\text{g/g}$ berat kering dan terendah juga pada *Archaster typicus* dengan $14,01 \pm 2,65 \mu\text{g/g}$ berat kering.



Gambar 4. Konsentrasi logam Cu, Cd, dan Zn pada semua spesies makrofauna benthik yang ditemukan di kedua lokasi penelitian (Con = *Conus magus*; Sacc = *Saccostrea cucullata*; Litt = *Littorina scabra*; Cer = *Cerithium* sp; Arch = *Archaster typicus*; Pol = *Polinices* sp; Nass = *Nassarius globosus*; Troc = *Trochus maculatus*; Gaf (mang) = *Gafrarium tumidum* (di Bilis-Bilis); Gaf (pt)(my)(gd) = *G. tumidum* (kecil)(sedang)(besar); Ana (pt)(my)(gd) = *Anadara scapha* (kecil)(sedang)(besar)

PEMBAHASAN

Besar cangkang suatu spesies makrofauna benthik biasanya diidentikkan dengan umur spesies tersebut. Dengan kata lain, semakin besar ukuran cangkang maka umur spesies tersebut juga diperkirakan lebih tinggi. Pada kasus akumulasi logam berat pada spesies *A. scapha* yang terbagi atas 3 kelas ukuran besar, menunjukkan bahwa ada korelasi positif antara umur dan kemampuan untuk mengakumulasi logam, dalam artian individu yang berukuran lebih besar mempunyai kemampuan untuk mengakumulasi logam lebih besar pula. Hal tersebut diperkuat oleh penelitian Riget *et al.*, (1996) yang menyebutkan bahwa pada *Mytilus edulis* ditemukan korelasi positif antara ukuran cangkang dengan kemampuan mengakumulasi logam berat. Mereka menduga bahwa korelasi positif tersebut terkait dengan kemampuan *M. edulis* mengakumulasi logam lebih tinggi dibandingkan tingkat pertumbuhan organisme itu sendiri. Dapat juga dikatakan bahwa selama spesies tersebut mengalami

pertumbuhan, maka kemampuannya untuk mengakumulasi logam juga meningkat.

Sedangkan pada spesies *G. tumidum*, fenomena tersebut bisa jadi tidak terjadi karena individu spesies *G. tumidum* yang berukuran sedang justru mengakumulasi logam berat (kecuali Cd) lebih besar dibandingkan yang berukuran besar (untuk yang berukuran kecil tetap mengakumulasi logam terendah). Belum diketahui alasan ilmiah yang tepat untuk menjelaskan kasus ini. Tetapi dugaan sementara adalah bahwa proses pertumbuhan dan perkembangan dari spesies *G. tumidum* telah mengalami puncaknya setelah pada tahap ukuran sedang (untuk kasus ini), dan kemudian mengalami penurunan perkembangan pada tahap ukuran besar. Oleh karena proses metabolisme mengalami penurunan, maka diduga kemampuan untuk mengakumulasi logam juga mengalami penurunan sehingga konsentrasi logam pada spesies yang berukuran besar menjadi lebih rendah dibandingkan yang berukuran sedang. Perlu diketahui juga bahwa penurunan kadar akumulasi logam pada spesies *G.*

Tabel 3. Konsentrasi logam berat (dalam $\mu\text{g/g}$ berat kering) pada makrofauna benthik dalam skala dunia

Spesies	Lokasi	Cu	Cd	Zn	Referensi
Zona sedang					
<i>Mytilus edulis</i>	Apple river, Inner Bay Fundy Canada	6,6 \pm 0,05	2,7 \pm 0,32	75 \pm 5	Chou, <i>et al.</i> , 2003
<i>Mytilus edulis</i>	Prancis	7,9	1,0	127	RNO, 1996
<i>Mytilus edulis</i>	Amerika Serikat	8,5	1,6	120	RNO, 1996
Zona tropis					
<i>Crassostrea gasar</i>	Kamerun	8,5	0,25	407	Mbome, 1988
<i>Crassostrea gasar</i>	Pantai Gading	25	0,65	1205	Metongo, 1991
<i>Gafrarium tumidum</i>	Hong Kong	5,77	-	57,7	Cheung and Wong, 1997
<i>Gafrarium tumidum</i>	New Caledonia	5,4–33,6	-	53–139	Breau, 2003
<i>Anadara senilis</i>	Nigeria	1,0	0,03	15	Joiris and Azokwu, 1999
<i>Anadara scapha (besar)</i>	Kep. Kangean	4,77 \pm 0,97	13,30 \pm 1,55	70,07 \pm 11,88	Studi ini
<i>Nassarius globosus</i>	Kep. Kangean	192,53 \pm 154,65	2,80 \pm 1,70	421,21 \pm 326,49	Studi ini
<i>Saccostrea cucullata</i>	Kep. Kangean	15,71 \pm 3,89	11,30 \pm 1,22	1816,02 \pm 367,28	Studi ini
Ambang Batas untuk air		-	0,01*	5*	Palupi (1994) dalam Darmono (2001)
Ambang Batas untuk ikan		10**	0,05**	100**	Darmono (2001)

Keterangan: *dalam mg/lit
** dalam mg/kg

tumidum hanya ditemukan pada logam Cu dan Zn, yang telah diketahui bersama adalah logam-logam esensial yang dibutuhkan oleh tubuh organisme, meskipun dalam jumlah yang sangat sedikit. Meskipun tidak dijelaskan lebih lanjut dan terperinci, Palar (2004) menjelaskan bahwa logam Cu sangat dibutuhkan oleh hewan seperti kerang untuk cairan tubuhnya, sehingga logam Cu yang terakumulasi lebih banyak digunakan oleh spesies seperti *G. tumidum* bagi pertumbuhan dan perkembangannya. Pada saat proses metabolismenya mencapai puncaknya, maka kebutuhan akan Cu juga semakin meningkat. Hal inilah yang memungkinkan konsentrasi logam Cu pada spesies *G. tumidum* lebih tinggi pada saat masa produktif (ukuran sedang) dibandingkan pada spesies yang berukuran kecil dan besar (tua). Sedangkan pada logam Cd yang konsentrasi tertinggi ditemukan pada spesies yang berukuran besar, dimungkinkan karena posisi logam Cd sebagai logam nonesensial dan beracun yang tidak dibutuhkan oleh organisme sehingga menumpuk pada bagian tubuh organisme tersebut tanpa bisa dipergunakan dalam proses metabolisme atau perkembangannya.

Tingkat akumulasi logam Cu, Cd, dan Zn direspons secara berbeda oleh tiap-tiap spesies makrofauna benthik yang ditemukan di lokasi penelitian. Logam Cu diakumulasi tertinggi oleh spesies *Nassarius globosus*, logam Cd oleh *Anadara scapha* (besar), dan logam Zn oleh *Saccostrea*

cucullata. Ketiga spesies tersebut bisa jadi merupakan spesies indikator pada masing-masing logam, dan dapat dipergunakan sebagai spesies bioindikator khas untuk masing-masing logam berat. Famili Ostreidae merupakan famili yang dikenal mengakumulasi logam Zn lebih tinggi dibanding logam berat lainnya. RNO (1996) mencatat bahwa *Crassostrea gigas* di Prancis mengakumulasi logam Zn sampai dengan 2884 $\mu\text{g/g}$ dw dibandingkan Cd yang 2,2 $\mu\text{g/g}$ berat kering dan Cu yang 179 $\mu\text{g/g}$ berat kering. Selain itu di Amerika, RNO (1996) juga mencatat bahwa *Crassostrea gigas* mengakumulasi logam Zn sampai dengan 2137 $\mu\text{g/g}$ dw dibandingkan Cd yang 2,8 $\mu\text{g/g}$ dw dan Cu yang 115 $\mu\text{g/g}$ dw.

Sementara itu, spesies *Archaster typicus* mengakumulasi paling kecil untuk semua logam yang dianalisis pada studi ini. Hal ini diduga karena *Archaster typicus* mempunyai kemampuan berpindah lebih tinggi dibandingkan makrofauna benthik dari class Bivalvia ataupun Gastropoda, sehingga memberikan keuntungan untuk berpindah saat kondisi lingkungan perairan dirasakan tidak mendukung.

Akumulasi logam berat Cu, Cd, dan Zn pada makrofauna benthik di kepulauan Kangean relatif sangat tinggi dengan penelitian sebelumnya di beberapa lokasi di dunia, baik di zona sedang ataupun di zona tropis dan juga nilai ambang batas yang direkomendasikan oleh WHO (Tabel 3) (Darmono, 2001)

Terdapat perbedaan tingkat akumulasi logam berat pada spesies *Anadara scapha* dan *Gafrarium tumidum* berdasarkan ukuran atau umur organisme. Organisme yang lebih besar atau berumur lebih tua mengakumulasi logam berat lebih tinggi dibandingkan yang berukuran kecil atau yang masih muda (pada spesies *A. scapha*). Sedangkan pada *G. tumidum*, yang berukuran sedang justru mengakumulasi logam Cu dan Zn lebih tinggi dibandingkan yang berukuran besar. Sedangkan untuk logam Cd, fenomena organisme yang lebih besar mengakumulasi logam lebih tinggi masih terjadi. Fenomena tersebut diduga berkaitan dengan proses pertumbuhan dan perkembangan hewan makrofauna benthik, sehingga selama masa tersebut, kemampuan untuk mengakumulasi logam berat juga semakin tinggi. Tetapi perlu dilakukan penelitian yang lebih detail dan terperinci tentang fenomena tersebut karena ditemukan kasus yang berbeda pada spesies *G. tumidum*.

Spesies *Nassarius globosus*, *Anadara scapha* (besar), dan *Saccostrea cucullata* mengakumulasi logam Cu, Cd, dan Zn masing-masing dengan sangat tinggi dibandingkan spesies yang lain. Untuk menentukan apakah ketiga spesies tersebut merupakan spesies bioindikator spesifik untuk tiap-tiap logam tersebut, maka perlu dilakukan studi lanjut yang lebih terperinci untuk mendapatkan hasil yang lebih pasti;

Secara umum, tingkat akumulasi logam berat pada makrofauna benthik di Kepulauan Kangean relatif sangat tinggi dibandingkan penelitian serupa di beberapa lokasi penelitian, baik di zona sedang atau pun di zona tropis. Belum diketahui secara pasti penyebab tingginya kandungan logam berat tersebut, terutama logam Cd yang diketahui nonesensial dan bersifat toksik. Sebagai suatu studi awal, maka diperlukan suatu studi lanjutan yang lebih detail mengungkap data awal ini sehingga diperoleh sumber informasi yang jelas mengenai tingginya konsentrasi logam berat dilokasi penelitian secara khusus dan Kepulauan Kangean secara umum.

KEPUSTAKAAN

- Abbot RT and Dance SP, 1982. Compendium of seashells. American Malacologist, Inc. Melbourne, 411.
- Anonim, 1999. Sumenep dalam monogram. Pemerintah Daerah Kabupaten Sumenep. Kantor Pusat Statistik Sumenep.
- Breau L, 2003. Etude de la bioaccumulation des métaux dans quelques espèces marines tropicales: Recherche de bioindicateurs de contamination et application à la surveillance de l'environnement côtier dans le lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie. *Thèse doctorat Université de La Rochelle*. 317.
- Chafik A, Chegour M, Cossa D, Sifeddine SBM, 2001. Quality of Moroccan Atlantic coastal waters: water monitoring and mussel watching. *Aquat. Living Resour* 14: 239–249.
- Cheung YH and Wong MH, 1997. Depuration and bioaccumulation of heavy metals by clams from Tolo Harbour, Hong Kong. *Toxicological and Environmental Chemistry* 58: 103–116.
- Chiffolleau JF, Claisse D, Cossa D, Ficht A, Gonzalez JL, Guyot T, Michel P, Miramand P, Oger C dan Petit F, 2001. La Contamination Métallique. IFREMER. 39.
- Chou CL, Paon LA, Moffat JD, King T 2003. Selection of bioindicators for monitoring marine environmental quality in the Bay of Fundy, Atlantic Canada. *Marine Pollution Bulletin* 46: 756–762.
- Darmono, (2001). Lingkungan hidup dan pencemaran. Universitas Indonesia Press. Jakarta, 179 halaman.
- Fichet D, 1997. Etude de la biodisponibilité des métaux lourds dans les sédiments portuaires avant et après dragage: recherche de bio indicateurs de leur toxicité. *Thèse doctorat, Université de La Rochelle*, 173.
- Haynes D, Leeder J, Rayment P, 1997. A comparison of the bivalve species *Donax deltooides* and *Mytilus edulis* as monitors of metal exposure from effluent discharges along the Ninety Mile Beach, Victoria, Australia. *Marine Pollution Bulletin* 34: 326–331.
- Joiris CR and Azokwu MI, 1999. Heavy metals in the Bivalve *Anadara (Senilia) senilis* from Nigeria. *Marine Pollution Bulletin* 38: 618–622.
- Kaimoussi A, Chafik A, Mouzdahir A, Bakkas S, 2001. The impact of industrial pollution on the Jorf Lasfar coastal zone (Morocco, Atlantic Ocean): the mussel as an indicator of metal contamination. CR. Acad. Sci. Paris, *Sciences de la Terre et des planets/Earth and Planetary Sciences* 333: 337–341.
- Mbome IL, 1988. Heavy metals in marine organisms from Limbé and Douala. *Joint FAO/IOC/WHO/IAEA/UNEP Project*, IOC, Paris, 1–20.
- Metongo BS, 1991. Concentration en métaux toxiques chez *Crasostrea gasar* (huître de mangrove) en zone urbaine lagunaire d'Abidjan (Cote d'Ivoire). *Journal Ivoirien d'Océanologie et Limnologie*, Abidjan 1: 33–45.
- Palar H, 2004. Pencemaran dan toksikologi logam berat. PT Rineka Cipta, Jakarta, 90.
- Phillips DJH, 1976. The common mussel, *Mytilus edulis* as an indicator of pollution by zinc, cadmium, lead and copper. I. effect of environmental variables on uptake of metals. *Marine Biology* 38: 59–69.
- Pigeot J, 2001. Approche écosystemique de la contamination métallique du compartiment biologique benthique des littoraux charentais: exemple du bassin de Marennes-Oleron. *Thèse doctorat Université de La Rochelle* 305.
- Prasetyo R, 2001. Strategi Pengelolaan Kawasan Terumbu Karang di Kepulauan Kangean. *Tesis Program Pascasarjana*. Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

- Rainbow PS, Fialkowski W, Smith BD, 1998. The sandhopper *Talitrus saltator* as a trace metal biomonitor in the Gulf of Gdansk, Poland. *Marine Pollution Bulletin* 36(3): 193–200.
- Riget F, Johansen P, and Asmund G, 1996. Influence of length on element concentrations in blue mussels (*Mytilus edulis*). *Marine Pollution Bulletin* 32(10): 745–751.
- RNO, 1996. Le macrobenthos marin: Témoin des variations de l'environnement côtier. *Programmes Actuels, Surveillance du Milieu Marin; Travaux au Réseau National d'Observation de la Qualité du Milieu Marin*. IFREMER. 32.
- Ugolini A, Borghini F, Calosi P, Bazzicalupo M, Chelazzi G, Focardi S, 2004. Mediterranean *Talitrus saltator* (Crustacea, Amphipoda) as a biomonitor of heavy metal contamination. *Marine Pollution Bulletin* 48(5–6): 526–532.