



DEPURASI MERKURI DENGAN OZONASI PADA *Anadara antiquata* DALAM UPAYA KEAMANAN BAHAN PANGAN

Wahyu Prihatini¹, Ade Heri Mulyati²

¹Program Studi Biologi FMIPA Universitas Pakuan, Bogor

²Program Studi Kimia FMIPA Universitas Pakuan, Bogor

wahyu_prihatini@yahoo.co.id

Hewan kerang-kerangan (bivalvia) merupakan salah satu sumber protein hewani dengan harga terjangkau, dan mudah diperoleh di berbagai perairan Indonesia. Pemanfaatan kerang bulu (*Anadara antiquata*) sebagai bahan pangan masih kalah populer dibandingkan kerabatnya, kerang darah (*Anadara granosa*), meskipun kedua species ini sering dijumpai dalam habitat berdekatan. Ekosistem perairan yang semakin tercemar logam berat, dapat menyebabkan resiko kesehatan bagi masyarakat konsumen kekerangan, karena adanya fenomena biomagnifikasi. Diperlukan upaya untuk menurunkan, bahkan jika mungkin menghilangkan kandungan logam berat agar diperoleh kerang yang aman dikonsumsi. Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan kandungan merkuri pada *A. Antiquata* melalui metode ozonasi. Kombinasi perlakuan ozonasi 1, 2, dan 3 hari, serta tingkat salinitas 30⁰/₀₀ dan 25⁰/₀₀ dilakukan terhadap *A. antiquata* yang telah diaklimatisasi selama 7 hari. Contoh jaringan insang diambil untuk pembuatan sediaan histologis, dan dianalisis kandungan merkurnya. Hasil penelitian menunjukkan kombinasi perlakuan belum menghasilkan perbedaan signifikan terhadap penurunan kandungan merkuri. Struktur histologis insang pada kerang yang diberi perlakuan menunjukkan kondisi lebih baik, sedangkan kerang yang tidak diozonasi mengalami kerusakan berupa hiperplasia dan nekrosis. Meskipun hasil yang diperoleh belum signifikan, namun depurasi secara ozonasi cenderung memperlihatkan meningkatnya retensi merkuri, dan struktur histologis insang lebih baik. Salinitas 25⁰/₀₀ cenderung lebih tinggi peningkatan retensinya dibandingkan salinitas 30⁰/₀₀.

Kata kunci: kerang bulu, *Anadara antiquata*, depurasi, ozonasi, merkuri.

PENDAHULUAN

Pemanfaatan kerang bulu (*Anadara antiquata*) sampai saat ini belum intensif, harganya masih relatif murah, dan produksi tangkapnya rendah, meski persebaran kerang buludi Indonesia cukup luas. Kerang *A. Antiquata* dapat dijumpai di perairan pantai Sumatera Barat, Selat Malaka, pantai Utara, Selatan, dan Timur Jawa, Bali, Nusa Tenggara Timur, Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur, Sulawesi Selatan, Sulawesi Utara, Maluku, dan Papua (Tang *et al.*, 2009). Kerang berperan penting dalam ekosistem perairan yang tercemar, karena mampu mengakumulasi logam berat dari lingkungan sekitarnya, tahan terhadap toksisitas logam, populasinya besar, distribusinya luas, dan mobilitasnya terbatas (Misra & Mukhapadhyay, 2008).

Makin tinggi konsentrasi logam berat di perairan, bioakumulasinya dalam tubuh kerang ikut meningkat, karena beberapa jenis logam berat tidak dapat dimetabolisme oleh tubuh, dan jenis logam lainnya berafinitas tinggi pada pembentukan jaringan yang kaya senyawa non lipid. Dibandingkan dengan ikan dan krustasea, kerang memiliki aktivitas enzim sangat rendah untuk metabolisme *persistent organic pollutants* (POPs), seperti hidrokarbon aromatik dan bifenil poliklorin, sehingga konsentrasi pencemar di tubuh

kerang lebih akurat merefleksikan biomagnifikasi pencemaran di lingkungan (Gupta & Singh, 2011; Amiard *et al.*, 2008). Faktor-faktor lingkungan perairan yang mempengaruhi toksisitas logam berat, antara lain suhu, salinitas, pH, dan oksigen terlarut (DO). Penurunan pH dan salinitas, serta peningkatan suhu di perairan akan meningkatkan toksisitas logam berat, sebaliknya kandungan oksigen terlarut (DO) tinggi dapat mengurangi toksisitas logam berat (Darmono, 2008).

Masyarakat umumnya kurang menyadari bahwa mengkonsumsi kekerangan perlu waspada, karena adanya fenomena biomagnifikasi logam berat yang membahayakan kesehatan masyarakat. Sifat toksik maupun terurainya logam berat, dipengaruhi oleh faktor lingkungan, dan karakteristik logam tersebut. Sifat toksik logam dikarenakan efektifitasnya berikatan dengan gugus *sulfhidril* (SH) pada enzim seluler, membentuk kompleks metaloenzim dan metaloprotein, sehingga enzim tidak dapat bekerja. Secara alamiah, kerang mampu melakukan detoksifikasi logam di tubuhnya melalui proses metabolisme, namun juga dapat diinduksi (Gabr & Gab-Alla, 2008; Shin & Lam, 2001).

Terdapat dua metode untuk menurunkan kandungan logam berat dari tubuh biota akuatik, yaitu metode transplantasi, dan depurasi. Metode transplantasi dilakukan dengan memindahkan kerang tercemar ke perairan bersih (bebas pencemar), dan memberikan waktu bagi kerang untuk membersihkan diri sendiri melalui proses ekskresi. Metode ini memakan waktu lama, minimal satu musim pemijahan, dan dinilai efektif menghilangkan pencemar bakteri *E. coli* pada kerang, namun kurang efektif menghilangkan jenis pencemar lain, seperti *paralytic shellfish poisoning* (PSP), logam berat, atau bahan kimia organik. Adapun metode depurasi pada prinsipnya adalah langkah purifikasi biota, pada suatu kondisi yang terkendali (Gabr & Gab-Alla, 2008). Metode depurasi dengan beragam kondisi telah dilakukan pada beberapa species biota akuatik, antara lain pada udang air tawar *Macrobrachium lanchesteri* (Shuhaimi-Othman *et al.*, 2006); siput laut *Nerita lineata* (Kanakaraju & Anuar, 2009); kerang *Meretrix meretrix* (Rashid *et al.*, 2009), dan kerang darah *Anadara granosa* (Yap *et al.*, 2011).

Surat Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor: KEP.17/MEN/2004 tentang Sistem Sanitasi Kekerangan di Indonesia, telah menetapkan Standar Mutu Kekerangan bagi jenis-jenis kerang hidup, dan produk olahannya yang dikonsumsi langsung. Terkait dengan batasan ambang logam berat, kekerangan dan produk olahannya yang akan dikonsumsi harus memenuhi persyaratan, antara lain kandungan maksimum merkuri (Hg), kadmium (Cd) dan timbal (Pb), berturut-turut 0,5; 1,0; dan 1,5 mg/kg berat bersih.

Pada kerang, logam berat umumnya terakumulasi pada insang yang berfungsi menyaring partikel organik, dan pada hepatopankreas yang bertugas dalam detoksifikasi tubuh. Insang mengandung banyak pembuluh kapiler untuk absorpsi oksigen, sehinggasenyawa lipofilik dalam air mudah masuk ke tubuh kerang (Hunt *et al.*, 2002). Kondisi toksik mendorong tubuh untuk mengendalikan kecepatan dan arah rangkaian metabolik, yang antara lain berupa perubahan jumlah molekul dan jenis enzim yang bekerja, ataupun mengendalikan fungsi enzim. Tubuh mengurangi sintesis protein normal, dan meningkatkan sintesis protein-protein stres, antara lain *Metallothionein* (MT) dan *Heat Shock Protein* (HSP). Protein MT berperan penting dalam mekanisme detoksifikasi toksisitas logam berat (Evans & Hofmann, 2012).

Perubahan fisiologis pada kerang yang melakukan detoksifikasi terlihat dari peningkatan laju filtrasi, respirasi, makan, pertumbuhan, dan reproduksi, selain perubahan parameter metabolik dan biokimia. Logam berat yang diikat oleh protein MT, lalu didepositkan ke dalam granul intraseluler tak berbentuk, yang disebut “vesikel coklat” (Zarogian & Yevich, 1994). Observasi histopatologis perlu dilakukan untuk mengetahui dampak konsentrasi logam di air dan/atau sedimen terhadap biota. Peningkatan jumlah sel epitel tubuli, hemosit, atau vesikel coklat di jaringan ikat, merupakan respon spesifik proses detoksifikasi logam berat dan pemulihan jaringan (Guzman-Garcia *et al.*, 2009).

Terbuka peluang untuk mendapatkan metode depurasi logam berat pada kerang hidup, yang mudah namun efektif. Salah satu teknik yang dicobakan dalam penelitian ini adalah dengan pemberian ozonasi lewat air. Terapi ozon (oksigen teraktivasi) adalah suatu metode alternatif detoksifikasi yang dipandang efektif pada manusia. Ozon mempengaruhi kerja enzim anti-oksidan intraseluler, dan mereduksi konsentrasi logam berat dengan jalan mengoksidasi logam menjadi sulfat. Ozon juga dapat mengakselerasi reaksi glikolisis, sehingga meningkatkan pembentukan asetil koenzim A yang penting dalam detoksifikasi metabolik, serta mempengaruhi sistem transport di mitokondria yang akan meningkatkan metabolisme seluruh sel tubuh (Bocci, 2006).

Ozonasi air mudah untuk diupayakan; pada prinsipnya ozonasi dilakukan dengan memasukkan gelembung gas ozon dari generator ke dalam wadah berisi air, lebih baik air dingin. Penggunaan air dingin dimaksudkan untuk menghambat pelepasan ozon ke udara bebas, karena salah satu kelemahan metode ini, yaitu ozon tidak mampu bertahan lama dalam air. Dalam hitungan jam, air berozon akan kembali pada kondisi normal. Ozonasi air efektif membunuh berbagai patogen, meningkatkan kandungan oksigen dalam air, serta mendetoksifikasi dan mengeluarkan racun secara alami (Beck *et al.*, 1989).

METODOLOGI PENELITIAN

Pengambilan sampel kerang

Sampel *A.antiquata* diperoleh dari perairan Cilincing, Teluk Jakarta. Pengambilan sampel dilakukan pada bulan April, Juni, dan Agustus 2013. Sampel kerang dibawa dalam kotak berpendingin ke laboratorium, kemudian dimasukkan ke dalam akuarium transisi untuk dibersihkan dari lumpur dan kotoran, lalu dipindahkan ke akuarium aklimatisasi. Akuarium aklimatisasi berkapasitas 200 liter, dilengkapi dengan pompa penyaring air, pompa sirkulasi, dan aerator. Selama masa aklimatisasi 7 hari, kerang diberi pakan pelet halus sekali sehari secara *ad libitum*.

Rancangan percobaan

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan kombinasi lamanya waktu depurasi (1, 2, dan 3 hari) dan salinitas air ($25^{0}/_{00}$ dan $30^{0}/_{00}$). Ozonasi dilakukan dua jam setiap hari kedalam akuarium-akuarium perlakuan berisi air laut bersih, kemudian kerang dibiarkan 24 jam dalam air yang disirkulasi. Setiap perlakuan menggunakan tiga ekor kerang uji berukuran 20-25 mm.

Struktur histologis insang

Pengambilan contoh organ insang dilakukan pada kerang kontrol dan kerang uji. Metode pembuatan sediaan histologis mengacu pada Sahin *et al* (2009).

Kandungan merkuri pada daging kerang

Analisis kandungan merkuri pada daging kerang dilakukan dengan Spektrofotometri Serapan Atom (AAS). Pembuatan sediaan histologis insang dilakukan terhadap kerang kontrol, maupun kerang uji sebelum dan setelah perlakuan. Persentase penurunan (retensi) merkuri yaitu selisih konsentrasi Hg setelah dan sebelum ozonasi dibagi konsentrasi sebelumnya dan dikalikan 100%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis konsentrasi merkuri akibat kombinasi perlakuan lamanya waktu ozonasi dan tingkat salinitas ditampilkan pada Tabel 2. Mengacu pada hasil di tabel tersebut, rataan konsentrasi merkuri antar perlakuan menunjukkan kecenderungan menurun, meskipun secara statistik tidak berbeda nyata.

Tabel 2. Rataan konsentrasi Hg (ppm) pada insang *Anadara antiquata*

Salinitas	Waktu	Lamanya ozonasi (hari)			
		P0	P1	P2	P3
30 ‰	Apr	0.075	0.070	0.064	0.055
	Jun	0.150	0.136	0.121	0.099
	Agt	0.100	0.091	0.079	0.065
	rataan	0.108	0.099	0.088	0.073
25 ‰	Apr	0.005	0.005	0.004	0.003
	Jun	0.100	0.088	0.074	0.058
	Agt	0.300	0.260	0.210	0.150
	rataan	0.135	0.118	0.096	0.070

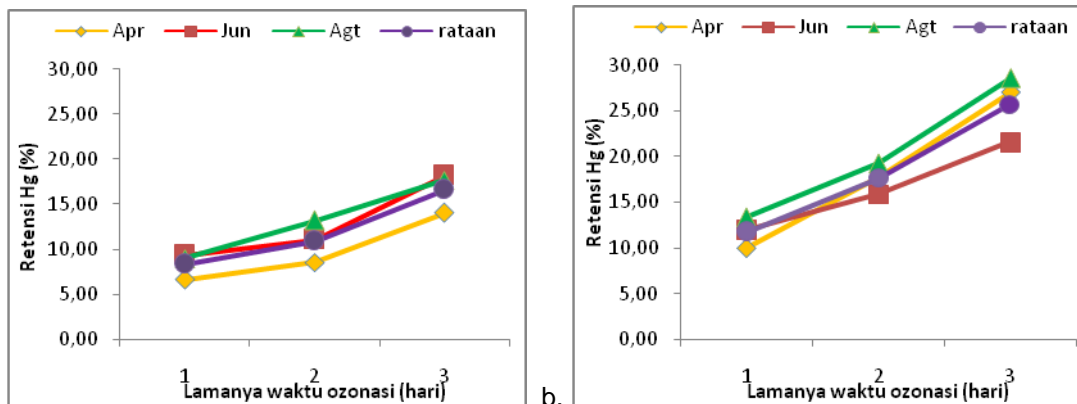
Keterangan : P0 = tanpa ozonasi; P1 = ozonasi 1 hari
P2 = ozonasi 2 hari; P3 = ozonasi 3 hari

Hasil penghitungan persentase penurunan (retensi) merkuri menunjukkan bahwa retensi merkuri cenderung meningkat sejalan dengan penambahan lamanya waktu depurasi (Tabel 3 dan Gambar 1), walaupun tidak berbeda nyata secara statistik. Perlakuan ozonasi pada salinitas air 30‰ secara umum cenderung memiliki retensi lebih rendah dibandingkan dengan salinitas 25‰.

Tabel 3. Prosentase retensi Hg (%) pada insang *Anadara antiquata*

Salinitas	Waktu	Lamanya ozonasi (hari)		
		1	2	3
30 ‰	Apr	6.67	8.57	14.06
	Jun	9.33	11.03	18.18
	Agt	9.00	13.19	17.72
	rataan	8.33	10.93	16.66
25 ‰	Apr	10.00	17.78	27.03
	Jun	12.00	15.91	21.62
	Agt	13.33	19.23	28.57
	rataan	11.78	17.64	25.74

Keterangan: 1 = persentase retensi Hg pada ozonasi 1 hari.
2 = persentase retensi Hg pada ozonasi 2 hari.
3 = persentase retensi Hg pada ozonasi 3 hari.



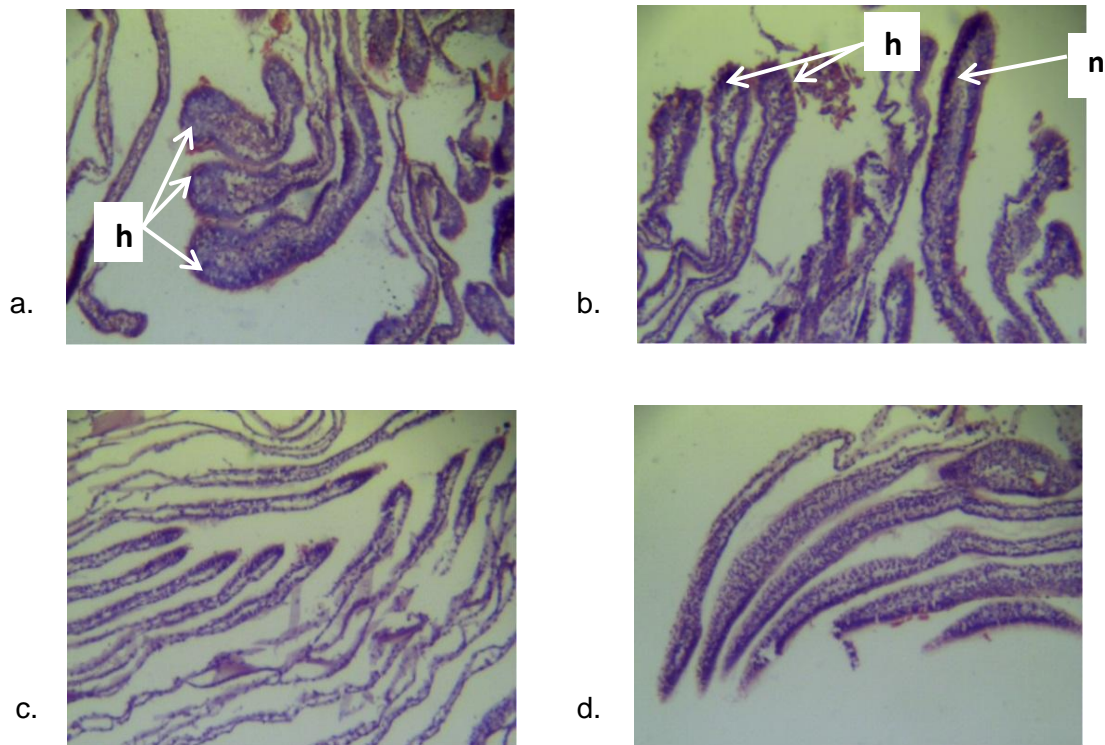
Gambar 1. Penurunan konsentrasi Hg : a) salinitas 30⁰/₀₀; b) salinitas 25⁰/₀₀

Penurunan salinitas perairan akan meningkatkan toksisitas logam berat, karena logam-logam menjadi lebih mudah larut. Merkuri yang terlarut di air, dan bersifat lipofilik, sangat mudah masuk ke dalam tubuh. Jalur masuk merkuri ke tubuh kerang secara filtrasi terutama melibatkan insang. Merkuri yang masuk selanjutnya terakumulasi terutama di insang, dan hepatopankreas (Arockia *et al.*, 2012; Gupta & Singh, 2011; Suseno & Panggabean, 2007). Kondisi toksik ini memicu tubuh melakukan penyesuaian metabolisme, antara lain dengan jalan ekskresi ataupun detoksifikasi. Proses detoksifikasi alamiah diawali dengan pengikatan ion logam di permukaan sel, karena ion-ion positif terikat pada sisi reaktif muatan negatif polimer ekstraseluler. Tahap selanjutnya, terjadi transportasi ion-ion logam ke sitoplasma, lalu diakumulasi oleh protein MT (Amiard *et al.*, 2008; Bernal-Hernandez *et al.*, 2010).

Berbagai piranti fisiologis hewan, misalnya laju ekskresi dan detoksifikasi logam, bersifat khas pada tiap species (*species-specific*) (Cardoso *et al.*, 2009). Tidak semua biotamampu mengekskresikan logam, sehingga pada hewan ini laju detoksifikasi menjadi satu-satunya penyeimbang laju pengambilan (*uptake rates*), untuk mencegah toksisitas logam. Rainbow (2006) menyebutkan, saat logam pertama kali masuk ke tubuh, regulasi logam segera dimulai, dan ion-ion logam disirkulasikan ke seluruh tubuh oleh cairan hemolimf. Logam-logam toksik diekskresikan, sementara logam yang tidak terekskresi terakumulasi dalam tubuh. Logam yang terakumulasi akan diregulasi melalui metabolisme, atau dilepaskan melalui detoksifikasi dan/atau ekskresi. Semua logam non esensial (termasuk logam berat) akan didetoksifikasi tubuh, antara lain dengan cara diikat kuat pada suatu situs tertentu yang sulit lepas kembali.

Struktur histologis insang pada kerang yang diberi perlakuan ozonasi menunjukkan kondisi agak lebih baik, dibandingkan kerang tanpa perlakuan ozonasi (Gambar 2).

Pengamatan terhadap sediaan histologis insang mendapati bahwa kerang-kerang yang tidak diozonasi (Gambar 3a) dan ozonasi 1 hari (Gambar 3b) menunjukkan kondisi histologis yang lebih buruk, umumnya dijumpai kerusakan berupa hyperplasia dan nekrosis. Kejadian hyperplasia yaitu pembentukan jaringan secara berlebihan, yang mengakibatkan penebalan jaringan epitel di ujung filamen insang, sehingga berbentuk seperti bentuk pemukul bisbol. Nekrosis adalah kematian sel karena rusaknya jaringan, ditandai dengan warna jaringan lebih pucat, dan hilang daya rentang, sehingga jaringan mudah terkoyak. Dalam sel terjadi akumulasi gumpalan lemak, yang dengan pewarnaan HE tampak sebagai bulatan kosong berwarna kuning kusam. Munculnya nekrosis menandakan terjadi pencemaran berat (Tanjung, 1997). Struktur histologis insang pada kerang yang diberi ozonasi 2 dan 3 hari relatif lebih baik, sel-sel tampak lebih rapat memenuhi lamella insang, meskipun masih terlihat kejadian hyperplasia, namun jumlahnya lebih sedikit (Gambar 3c dan 3d).



Gambar 2. Struktur histologis insang *Anadara antiquata* :
 a. Tanpa ozonasi (hari ke 0), b. ozonasi 1 hari, c. ozonasi 2 hari, d. ozonasi 3 hari
 Ket: h = hyperplasia ; n = nekrosis

Merkuri terlarut bersifat lipofilik, sehingga sangat mudah masuk ke tubuh. Jalur masuk merkuri ke tubuh kerang adalah secara filtrasi, yang melibatkan organ mantel,

kelenjar pencernaan, dan insang. Akumulasi merkuri di insang disebabkan oleh mekanisme *filter feeding* untuk memasukkan oksigen dan pakan, yang berlangsung di insang. Internalisasi merkuri ke dalam tubuh kerang diawali dari insang sebagai medium antarmuka (*interface*) selektif antara lingkungan internal dengan eksternal (Arockia *et al.*, 2012; Gupta & Singh, 2011). Akumulasi logam berat menyebabkan pembengkakan insang, karena ion-ion logam menghambat kerja senyawa α -antipirin, yang berakibat meningkatnya toksisitas pada insang (Sahin *et al.*, 2006).

Air berozon memasuki insang dengan arah berlawanan, sehingga memungkinkan terjadinya pertukaran gas, dan mempertahankan homeostasis. Pada insang terdapat sel-sel klorida yang kaya akan mitokondria. Sel-sel klorida ini bertanggungjawab mengatur fluks ion, antara biota dengan lingkungan sekitar (Banks *et al.*, 2005). Aksi biologis ozon secara umum adalah sebagai bioregulator, yang antara lain mempengaruhi *immunostimulating*, antihipoksik, detoksifikasi, bioenergetik, dan biosintetik (mengaktivasi metabolisme karbohidrat, protein, dan lipid). Pemberian ozon bermanfaat meningkatkan kapasitas antioksidatif pada biota, karena mampu merangsang dan mengaktivasi pembentukan peroksida yang penting dalam proses detoksifikasi (Bocci, 2006).

Kesimpulan

1. Kombinasi perlakuan durasi waktu ozonasi dan tingkat salinitas pada penelitian ini, menimbulkan kecenderungan penurunan konsentrasi merkuri dari tubuh *Anadara antiquata*, walaupun tidak berbeda nyata secara statistik, dan penurunannya masih belum optimal.
2. Demikian pula antar perlakuan belum menghasilkan perbedaan nyata pada persentase retensi merkuri, meskipun terlihat persentase retensi merkuri cenderung meningkat. Perlakuan salinitas 25‰ cenderung menyebabkan persentase retensi merkuri lebih tinggi dibandingkan salinitas 30‰.
3. Perlakuan ozonasi durasi 2 hari dan 3 hari memperlihatkan struktur insang lebih baik, kerusakan berupa hiperplasia dan nekrosis lebih sedikit dijumpai.

DAFTAR PUSTAKA

- Amiard, J.C., C. Amiard-Triquet, S. Barka, J. Pellerin & P. S. Rainbow. 2008. Metallothioneins in aquatic invertebrates: Their role in metal detoxification and their use as biomarkers. *Aquatic Toxicology* 76 : 160–202.
- Arockia, V. L, P. Revathi, C. Aruvalu, & N. Munuswamy. 2012. Biomarker of metal toxicity and histology of *Perna viridis* from Ennore estuary, Chennai, South East Coast of India. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 84: 92-98.
- Banks, M. S., C. S. Loftin, R. E. Jung. 2005. Mercury bioaccumulation in Northern two-lined salamanders from streams in the Northeastern United States. *Ecotoxicology* 14: 181-191.

- Beck, E. G., G. Wasser & Viebahn-Hansler, R. 1989. The Current Status of Ozone Therapy. Empirical Development and Basic Research. *Forsch Komplementarmed* 5 : 61-75.
- Bernal-Hernandez, Y. Y., I. M. Medina-Diaz, M. L. Robledo-Marenco, J. B. Velazquez-Fernandez, M. I. Giron-Perez, L. Ortega-Cervantez, W. A. Maldonado-Vasquez, A. E. Rojaz-Garcia. 2010. Acetylcholinesterase and metallothionein in oysters (*Crassostrea corteziensis*) from a subtropical Mexican Pacific Estuary. *Ecotoxicology* 19: 819-825.
- Bocci, V. A. 2006. Scientific and Medical Aspects of Ozone Therapy. State of the Art. *Archives of Medical Research* 37 :425–435.
- Cardoso, P. G. A. I., E. Lillebo, A. Pereira, C. Duarte, & M.A. Pardal. 2009. Different mercury bioaccumulation kinetics by two macrobenthic species: the bivalve *Scrobicularia plana* and the polychaete *Hediste diversicolor*. *Marine Environmental Research* 68 (1): 1-22.
- Darmono. 2008. Lingkungan hidup dan pencemaran. Hubungannya dengan toksikologi senyawa logam. Penerbit Universitas Indonesia.
- Evans, T. G., G. E. Hofmann. 2012. Defining the limits of physiological plasticity: how gene expression can assess and predict the consequences of ocean changes. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 367: 1733-1745.
- Gabr, H. R. & A. A. Gab-Alla. 2008. Effect of transplantation on heavy metal concentrations in commercial clams of Lake Timsah, Suez Canal, Egypt. *Oceanologia* 50 (1): 83–93.
- Gupta, S. K, J. Singh. 2011. Evaluation of mollusc as sensitive indicator of heavy metal pollution in aquatic system. *The IIOAB Journal* (ISSN:0976-3104). Review Article. Vol. 2. Issue 1: 49-57.
- Guzmán-García, X., A.V. Botello, L. Martínez-Tabche & H. González-Márquez. 2009. Effects of heavy metals on the oyster (*Crassostrea virginica*) at Mandinga Lagoon, Veracruz, Mexico. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol.)* Vol. 57 (4): 955-962.
- Kanakaraju, D. & A. Anuar. 2009. Accumulation and Depuration of Lead and Chromium using *Nerita lineata*. *World Applied Sciences Journal* 6 (9): 1205-1208.
- Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor: KEP.17/MEN/2004 tentang Sistem Sanitasi Kekeurangan. Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- Misra, G. & P. K. Mukhapadhyay. 2008. Mussel farming: Alternate water monitoring practice. *Aquaculture Asia Magazine*. July-September. 32-34.
- Rainbow, P. S. 2006. Trace metal bioaccumulation: Models, metabolic availability, and toxicity. *Environment International* 33 (4) : 576-582.
- Rashid, W. A., V. L. Wan, & M. H. Abdullah. 2009. Accumulation and depuration of heavy metals in the hard clam *Meretrix meretrix* under laboratory conditions. *Tropical Life Sciences Research* 20 (1): 17-24.
- Sahin C, E. Düzgüne, I. Okumu. 2006. Seasonal Variations in Condition Index and Gonadal Development of the Introduced Blood Cockle *Anadara inaequalvis* (Bruguiere, 1789) in the Southeastern Black Sea Coast. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 6: 155-163.

- Shin, P.K.S., & W.K.C. Lam. 2001. Development of a marine sediment pollution index. *Environmental Pollution* 113: 281-291.
- Shuhaimi-Othman, M., A. Abas, S. S. Yap & M. Maziaty. 2006. Bioaccumulation and Elimination of Copper and lead by Freshwater Prawn *Macrobrachium lanchesteri*. *Journal of Biological Sciences* 6 (4) : 717-722.
- Suseno, H, & M. Panggabean. 2007. Merkuri: Spesiasi dan Bioakumulasi pada Biota Laut. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah* 10 (1) : 66 -78.
- Suwanjart, J., C. Pituksalee & S. Thongchai. 2009. Reproductive cycle of *Anadara granosa* at Pattani Bay and its relationship with metal concentrations in the sediments. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 31 (5) : 471-479.
- Tandjung, S. D. 1997. *The Acute Toxicity and Histopathology of Brook Trout (Salvelinus fontinalis) Exposed to Aluminium in Acid Water*. New York: Fordan University.
- Tang, U. M., P. Rengi, D. Erianto & Sumarto. 2009. Budidaya kerang *Anadara granosa* di Bengkalis Riau. Prosiding Seminar Nasional Moluska 2. Bogor, 11-12 Februari 2009.
- Yap, C. K., M. A. G. Azlan, W. H. Cheng, & S. G. Tan. 2011. Accumulation and Depuration of Cu and Zn in the Blood Cockle *Anadara granosa* (Linnaeus) under Laboratory Conditions. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* 34 (1) : 75 – 82.
- Zarogian G, & P. Yevich. 1994. The nature and function of the brown cell in *Crassostrea virginica*. *Mar. Environ. Res.* 37: 355-373.