

Short Paper

**RESPON OSMOLARITAS UDANG WINDU *Penaeus monodon* Fab.
DALAM MEDIA TERKONTAMINASI FENOL**

**OSMOLARITY RESPON OF *Penaeus monodon* Fab. IN PHENOL-
CONTAMINATED MEDIUM**

Haeruddin^{*)} dan Diana Rachmawati^{*)}

Abstract

Phenol represents nerve poison which able to cause paralysis due to the damage on fat tissue of nerve. In crustacean like tiger prawn, the damage on nervous system disturbs molting and osmoregulation activity, because both of those activities related to neuroendocrine system under control of center nervous system. This research was done to : (1) study the effect of various phenol concentration in culture medium to hemolymph osmolarity and osmotic work level of tiger prawn, (2) determine Low Observable Effect Concentration (LOEC) and No Observable Effect Concentration (NOEC) of phenol to hemolymph osmolarity and osmotic work level of the tiger prawn. The results showed that phenol has a significant effect on decreasing hemolymph osmolarity and increasing osmotic work level of tiger prawn. Osmolarity and osmotic work level respon pattern of the prawn to various phenol concentration is linear regression equation. NOEC and LOEC of the hemolymph osmolarity and the osmotic work level of the prawn are 0 to 2.08 mg/l and 2.08 mg/l, respectively.

Key words: osmoregulation, phenol, tiger prawn

Osmoregulasi merupakan sistem homeostasis pada udang untuk memelihara kemandirian milieu interior melalui pengaturan keseimbangan konsentrasi osmotik antara cairan intrasel dan ekstrasel (Mantel & Farmer, 1983). Beberapa organ yang terlibat dalam aktivitas osmoregulasi adalah: insang, saluran pencernaan, integumen dan organ ekskresi pada kelenjar antenna (Kamemoto, 1976; Gilles, 1979; Mantel & Farmer, 1983). Keberadaan polutan yang dapat merusak organ-organ tersebut diduga dapat menyebabkan gangguan terhadap aktivitas osmoregulasi.

Fenol merupakan bahan pencemar yang terdeteksi dalam lingkungan laut Indonesia, dengan konsentrasi berkisar

0,002-5,25 mg/l (Panggabean & Sanusi, 1994). Haeruddin (2006) mendeteksi fenol dalam air laut di Estuari Wakak-Plumbon, Kendal, Jawa Tengah sebesar tidak terdeteksi alat (tt) hingga 0,16 mg/l pada Bulan Juli 2004, dan 0,06-0,22 mg/l pada Bulan September 2004. Fenol yang terdapat dalam air laut diduga berasal dari industri perkayuan (kayu lapis dan papan partikel) yang terdapat di sekitar Estuari Wakak-Plumbon. Konsentrasi air laut di Estuari Wakak-Plumbon telah melampaui batas ambang baku mutu air laut untuk biota laut sebagaimana diatur dalam Lampiran 3 Surat Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51/2004 tentang Batasan Konsentrasi Fenol dalam Air Laut yang diperbolehkan untuk biota laut yaitu sebesar 0,002 mg/l. Konsentrasi

^{*)} Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Jurusan Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro.

^{*)} Penulis untuk korespondensi : E-mail : herdian 2003@yahoo.com

fenol yang melampaui ambang batas diduga merupakan salah satu penyebab kematian massal udang di Desa Mororejo dan Wonorejo, Kecamatan Kaliwungu, Kabupaten Kendal serta di Kelurahan Mangkang Wetan, Mangkang Kulon dan Mangunharjo, Kecamatan Tugu, Kota Semarang. Di Desa Mangkang Wetan, Kecamatan Tugu, luas tambak yang mengalami gagal panen mencapai 350 Ha. Akibat gagal panen beruntun sejak awal Tahun 1990-an, banyak petani tambak yang enggan mengusahakan tambaknya lagi (Anonim, 2003).

Senyawa fenol dan turunannya merupakan bahan yang berbahaya, dengan tingkat toksisitas yang bervariasi menurut tipenya (Priatna *et al.*, 1994). Fenol merupakan racun syaraf akut dan dapat menimbulkan kematian karena kelumpuhan sistem syaraf, akibat kerusakan selubung sel syaraf (Ozretic & Ozretic, 1988). Kerusakan sistem syaraf pada udang windu akan mengganggu aktivitas ganti kulit dan osmoregulasi, oleh karena kedua aktivitas ini berkaitan dengan sistem neuroendokrin yang berada di bawah kendali sistem syaraf pusat.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan: 1) mempelajari efek dan pola respon osmolaritas serta tingkat kerja osmotik yang diberikan oleh udang windu terhadap berbagai konsentrasi fenol dalam media hidupnya, 2) menentukan konsentrasi fenol terendah yang menimbulkan efek (LOEC) dan konsentrasi tertinggi yang tidak menimbulkan efek (NOEC) terhadap tekanan osmotik hemolimfe dan tingkat kerja osmotik yang dilakukan oleh udang.

Udang windu berbobot 7 ± 1 g per ekor diperoleh dari Balai Besar Pengembangan Budidaya Air Payau, Jepara. Udang windu diaklimatisasi terhadap kondisi media percobaan selama seminggu pada salinitas 28 ± 1 ppt, suhu $28 \pm 1^\circ\text{C}$ dalam keadaan gelap terus menerus dan diberi

pakan berupa pellet sebanyak 5-10% dari bobot badan.

Percobaan menggunakan Rancangan Acak Lengkap, terdiri dari 3 perlakuan dan 1 kontrol dengan 4 ulangan. Perlakuan adalah konsentrasi fenol (E. Merck, Darmstadt) dalam media pemeliharaan udang yaitu $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$ dan $\frac{1}{4}$ kali konsentrasi letal median (LC_{50} -96 jam) sebesar 8,309 mg/l (Haeruddin, 1997). Dengan demikian deret konsentrasi perlakuan yang digunakan adalah 6,24 mg/l (perlakuan D), 4,16 mg/l (perlakuan C), 2,08 mg/l (perlakuan B) serta 0 mg/l fenol (perlakuan A).

Udang windu dipelihara dalam larutan fenol dengan kepadatan maksimal 1 mg/l dengan sistem pemaparan statis terbarukan (*static renewable*). Media uji diganti setiap hari, sebelum dan setelah pergantian media uji dilakukan pengukuran peubah mutu air meliputi salinitas (salinometer), suhu (termometer), pH (pH meter), oksigen terlarut (DO-meter) dan konsentrasi fenol dalam media uji dengan Metode Langsung menurut APHA, AWWA dan WPCF (1989) menggunakan spektrofotometer serapan atom. Selama pemeliharaan, udang windu diberi pakan 3 kali sehari sebanyak 5-7% dari bobot udang.

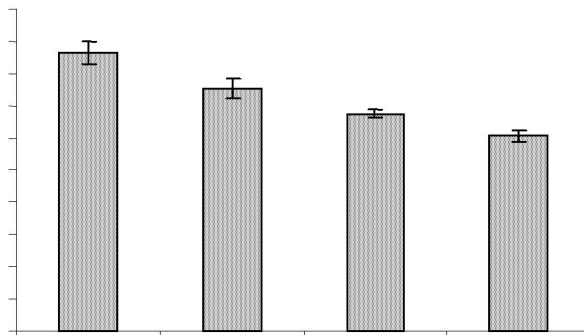
Setelah pemeliharaan selama 4 minggu, udang diambil cairan hemolimfanya menggunakan alat suntik tipe 2.0 G, melalui rongga jantung (*pericardiac cavity*) sebanyak 0,15 ml untuk setiap udang uji. Cairan hemolimfe ditransfer ke dalam tabung uji dan diencerkan dengan akuabides hingga volume 0,3 ml. Selanjutnya dilakukan pengukuran tekanan osmotik hemolimfe dan media uji menggunakan *Knauer Semimicro Osmometer*. Tingkat kerja osmotik udang ditetapkan berdasarkan selisih tekanan osmotik media uji dengan tekanan osmotik cairan hemolimfe. Efek fenol dalam media uji terhadap aktivitas osmo-

regulasi dianalisis dengan analisis ragam pada taraf nyata 5% atau 1%. Pola respon osmotik biota uji terhadap berbagai konsentrasi fenol dalam media ditetapkan dengan analisis regresi. Konsentrasi terendah yang menimbulkan efek (LOEC) dan konsentrasi tertinggi yang tidak menimbulkan efek (NOEC) dihitung dengan perangkat lunak TOXSTAT versi 3.2.

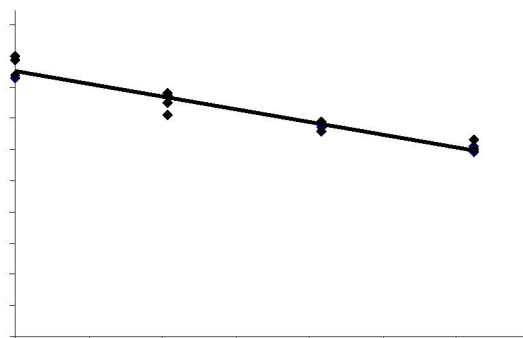
Tekanan osmotik hemolimfe udang windu pada akhir percobaan berkisar antara 590 mOsm/kg H₂O hingga 900 mOsm/kg H₂O. Rataan osmolaritas tertinggi terdapat pada perlakuan A (863,25 mOsm/kg H₂O) dan rata-rata terendah terdapat pada perlakuan D (607,5 mOsm/kg H₂O) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.

Analisis ragam menunjukkan bahwa pemberian fenol, berpengaruh nyata terhadap osmolaritas hemolimfe udang uji ($p < 0,05$). Hasil uji Dunnett menunjukkan bahwa perlakuan B, C dan D berbeda nyata dengan perlakuan A (0 mg/l fenol). Dengan demikian konsentrasi tertinggi fenol yang tidak menimbulkan efek terhadap tekanan osmotik hemolimfe udang windu (NOEC) terletak antara konsentrasi 0 mg/l hingga 2,08 mg/l fenol, sedang konsentrasi terendah fenol yang menimbulkan efek terhadap tekanan osmotik hemolimfe udang windu (LOEC) adalah 2,08 mg/l.

Analisis regresi menunjukkan bahwa respon yang diberikan oleh udang windu terhadap berbagai konsentrasi fenol dalam media pemeliharaan udang, merupakan persamaan regresi linier $Y = 851,28 - 10,61 X$ ($R^2 = 0,94$, $p < 0,01$) (Gambar 2).



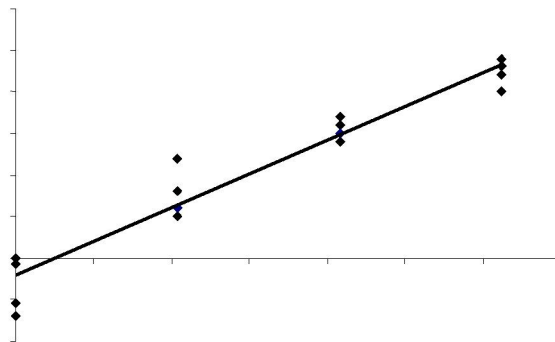
Gambar 1. Tekanan osmotik hemolimfe udang uji (mOsm/kg H₂O)
* Berbeda secara nyata dibandingkan control (perlakuan A)



Gambar 2. Hubungan antara konsentrasi fenol dalam media uji dengan osmolaritas hemolimfe udang uji

Hasil pengukuran tekanan osmotik media uji pada salinitas 28,5 ppt sebesar 830 mOsm/kgH₂O, sehingga diperoleh tingkat kerja osmotik yang dilakukan oleh udang uji sebagaimana disajikan pada Tabel 1. Semakin tinggi konsentrasi fenol dalam media uji, semakin besar tingkat kerja osmotik yang harus dilakukan oleh udang windu. Tingkat kerja osmotik tertinggi terjadi pada perlakuan D dan terendah pada perlakuan A. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa fenol dalam media uji berpengaruh sangat nyata terhadap tingkat kerja osmotik yang dilakukan udang uji. Hasil uji Dunnett menunjukkan bahwa perlakuan B, C, D berbeda dengan perlakuan A (kontrol), sehingga konsentrasi tertinggi fenol dalam media yang tidak menimbulkan efek terhadap tingkat kerja osmotik udang windu (NOEC) terletak antara konsentrasi 0 mg/l hingga 2,08 mg/l, sedang konsentrasi terendah fenol dalam media yang menimbulkan efek terhadap tingkat kerja osmotik udang uji (LOEC) adalah 2,08 mg/l.

Hubungan antara tingkat kerja osmotik yang dilakukan udang uji dengan konsentrasi fenol dalam media uji dinyatakan oleh persamaan regresi linier $Y = -21,28 + 40,61 X$ ($R^2 = 0,94$, $p < 0,01$) sebagaimana terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan antara konsentrasi fenol dalam media uji dengan tingkat kerja osmotik udang windu

Tabel 1. Tingkat kerja osmotik (mOsm/kgH₂O) udang uji pada berbagai konsentrasi fenol dalam media

Ulangan	Perlakuan			
	A	B	C	D
1	-55	50	160	240
2	-70	60	170	220
3	0	80	150	230
4	-8	120	140	200
Rataan	-33,25	77,50	155	222,50
SD	34,48	30,96	12,91	17,08

Data mengenai kondisi peubah mutu air selama percobaan dilaksanakan disajikan pada Tabel 2.

Data mengenai efek fenol terhadap aktivitas osmoregulasi krustasea masih sangat sulit diperoleh seperti halnya efek minyak dan dispersan yang memiliki gugus benzena seperti pada fenol. Berbagai polutan organoklor mampu mengubah berbagai proses transpor ion dan air yang berkaitan dengan pengaturan ionik dan osmoregulasi krustasea, sedang berbagai jenis logam berat dapat mengganggu aktivitas osmoregulasi krustasea (Gilles & Pequex, 1983). Hasil penelitian Swift (1981) dan Kristoffersson *et al.* (1973) menunjukkan bahwa fenol sedikit atau tidak berpengaruh terhadap aktivitas osmoregulasi ikan. Swift (1981) menyatakan bahwa cairan elektrolit plasma ikan

Tabel 2. Parameter mutu air selama percobaan dilaksanakan

Peubah mutu air	Perlakuan				Pustaka
	A	B	C	D	
Salinitas (ppt)	28-28,5	28-28,5	28-28,5	28-28,5	15-30 (1)
O ₂ terlarut (mg/l)	4,47-6,00	5,00-6,40	4,54-6,13	4,07-5,83	4-8 (2)
Suhu (°C)	28,3-28,8	28,0-28,8	28,4-28,8	28,3-28,8	28-30 (2)
pH	6,83-7,08	6,92-7,16	6,92-7,15	6,84-7,08	7-8,4 (3)
NO ₂ -N (mg/l)	0,28-0,48	0,23-0,47	0,35-0,51	0,33-0,58	< 0,25 (1)
NH ₃ -N (mg/l)	0,03-0,07	0,02-0,08	0,02-0,08	0,02-0,07	< 0,10 (4)
H ₂ S (mg/l)	0,03-0,12	0,02-0,05	0,02-0,10	0,02-0,08	< 2,00 (2)

Keterangan :

- (1). Poernomo (1988)
- (2). Villaluz *et al.* (1977)
- (3). Ilyas *et al.* (1987)
- (4). Chen (1985); Wickins (1976)

rainbow trout (*Salmo gairdneri*) terpengaruh oleh fenol pada konsentrasi separuh dari konsentrasi letal median (LC₅₀) 48 jam sebesar 12 mg/l) (Fogels & Sprague, 1977). Kristoffersson *et al.* (1973) menyatakan bahwa fenol hanya sedikit menimbulkan efek atau sama sekali tidak menimbulkan efek terhadap plasma elektrolit, bilamana dipapar pada ikan pike (*Esox lucius*) selama 1 minggu, dengan konsentrasi setengah kali konsentrasi letal median 48 jam. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa fenol berpengaruh nyata terhadap tekanan osmotik hemolimfe dan tingkat kerja osmotik udang windu. Semakin besar konsentrasi fenol yang digunakan dalam media, tekanan osmotik hemolimfe semakin rendah dan tingkat kerja osmotik semakin tinggi.

Perbedaan hasil yang diperoleh dibanding hasil penelitian Swift (1981) dan Kristoffersson *et al.* (1973) dikarenakan perbedaan jenis biota yang digunakan. Kedua penelitian tersebut menggunakan ikan, sementara pada penelitian ini digunakan udang. Udag lebih sensitif terhadap polutan dibanding ikan, oleh karena udang memiliki organ detoksifikasi (hepatopancreas) yang kurang sempurna dibanding ikan (hati).

Beragamnya osmolaritas hemolimfe yang berhasil diukur dalam percobaan, diduga disebabkan oleh dua hal, yaitu adanya gangguan kerja osmoregulasi akibat terjadinya gangguan pada sistem syaraf pusat yang mengatur kerja hormon osmoregulasi dan perbedaan fase ganti kulit diantara udang uji. Fenol merupakan bahan kimia yang dapat meracuni syaraf dengan cara merusak jaringan lemak syaraf. Disamping itu fenol bersifat sangat korosif terhadap jaringan (Ariens *et al.*, 1997), termasuk jaringan kitin yang menutupi tubuh udang windu. Terjadinya kerusakan jaringan kulit kitin, merangsang udang uji berganti kulit, sehingga semakin tinggi konsentrasi fenol dalam media uji, menyebabkan frekuensi ganti kulit menjadi lebih sering. Hasil pengamatan visual selama penelitian menunjukkan bahwa frekuensi ganti kulit udang lebih sering terjadi pada konsentrasi fenol yang lebih tinggi (terutama 4,16 mg/l ke atas).

Nilai osmolaritas hemolimfe udang akan berfluktuasi menurut fase ganti kulit dan salinitas media hidupnya. Ferraris *et al.* (1986) menyatakan bahwa dalam media bersalinitas tinggi (> 24 ppt), pada fase *intermolt* dan *molt* (ganti kulit), osmolaritas hemolimfe cenderung lebih tinggi daripada

mediannya, kemudian cenderung isoosmotik pada fase *pre-molt*. Udang yang baru berganti kulit (*post-molt*), memiliki kemampuan osmoregulasi yang rendah dan perubahan osmolaritas hemolimfe cenderung mengikuti perubahan salinitas medium.

Peningkatan osmolaritas cairan internal pada tubuh udang selama fase *pre-molt* disebabkan akumulasi cadangan nutrisi, terutama Ca dan P serta nutrisi organik lainnya ke dalam hemolimfe dan hepatopankreas; dan terjadinya aktifitas penyiapan kulit baru yang diiringi penyerapan nutrisi organik dan Ca dari kulit lama ke dalam hemolimfe (Yamaoka & Scheer, 1970; Mantel & Farmer, 1983; Ferraris *et al.*, 1986). Pengenceran hemolimfe akibat meningkatnya absorpsi air dan peningkatan penggunaan nutrisi organik dan anorganik dalam hemolimfe untuk pertumbuhan jaringan somatik, merupakan 2 faktor penyebab turunnya osmolaritas cairan tubuh dalam fase *post-molt* (Gilles, 1979; Della Via, 1986).

Data pada Tabel 1 dan Gambar 3 menunjukkan bahwa tingkat kerja osmotik yang dilakukan udang uji semakin tinggi dengan meningkatnya konsentrasi fenol di dalam media uji. Tingkat kerja osmotik tertinggi terjadi pada perlakuan D (konsentrasi fenol 6,24 mg/l) dan terendah pada perlakuan A (konsentrasi fenol 0 mg/l). Tingkat kerja osmotik yang dilakukan udang uji pada perlakuan A memiliki variasi yang cukup besar, sehingga nilai simpangan baku lebih besar dari rata-rata tingkat kerja osmotik yang harus dilakukan. Tingkat kerja osmotik bertanda minus menunjukkan bahwa tekanan osmotik cairan hemolimfe lebih tinggi dari tekanan osmotik media atau dengan kata lain media bersifat hipotonik terhadap cairan hemolimfe. Tingkat kerja osmotik nol menunjukkan bahwa tekanan osmotik cairan hemolimfe sama dengan tekanan osmotik media atau media bersifat isotonik terhadap cairan hemolimfe.

Pada kondisi lingkungan hipotonik, cairan tubuh udang bersifat hiperosmotik terhadap media eksternalnya. Dalam keadaan ini air dan media eksternal cenderung menembus masuk ke dalam lapisan yang berlapis tipis seperti insang, usus dan kulit (terutama pada saat ganti kulit). Ion-ion cenderung berdifusi keluar tubuh dan cairan internal terancam akan kekurangan ion melalui ekskresi. Guna mengatasi hal tersebut udang berusaha memelihara kemantapan osmolaritas cairan tubuh dengan mekanisme regulasi hiperosmotik dengan cara : meningkatkan absorpsi ion (garam) dari media eksternal melalui insang dan usus; dan menghasilkan urin yang hipoosmotik melalui organ ekskresi/kelenjar antenna (Gilles & Pequex, 1983; Mantel & Farmer, 1983).

Keberadaan fenol dalam media hidup udang dalam konsentrasi yang cukup tinggi akan merusak jaringan tubuh udang yang langsung berhubungan dengan media seperti integumen dan insang. Kerusakan jaringan kulit memaksa udang berganti kulit lebih sering dan kerusakan pada jaringan insang ditandai dengan warna filamen insang kemerahan menyerupai daging udang matang setelah direbus dalam air mendidih. Aktivitas osmoregulasi dan tingkat kerja osmotik yang dilakukan udang uji dapat mengalami gangguan bilamana insang dan usus mengalami kerusakan/gangguan serta keberadaan elemen asing dalam media hidup udang, yang dapat mengganggu keseimbangan osmoefektor dan menghambat mekanisme transport aktif membran sel (D'appollonia, 1978).

Secara keseluruhan kondisi peubah mutu air selama percobaan sangat mendukung kehidupan udang uji secara normal, kecuali konsentrasi nitrit yang berada di atas batas maksimum yang diperbolehkan oleh Villaluz *et al.* (1987). Namun berbeda dengan Villaluz *et al.* (1987), Wickins (1976) menyatakan bahwa nitrit

baru menimbulkan hambatan pertumbuhan sebesar 50% pada konsentrasi 6,4 mg/l. Rand & Petrocelli (1985) menyatakan bahwa toksisitas nitrit terhadap hewan air sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia air. Meningkatnya kadar kalsium dalam air tawar maupun laut, dapat menurunkan toksisitas nitrit. Penambahan kalsium (Wedemeyer & Yasutake, 1978) dan klorida (Perrone & Meade, 1977; Tomasso *et al.*, 1979) dapat mereduksi toksisitas nitrit terhadap ikan. Crawford & Allen (1977) melaporkan bahwa nilai konsentrasi letal median 96 jam nitrit terhadap juwana ikan chinook salmon (*O. tshawytschn*) dalam air tawar sekitar 19 mg/l, sedang dalam air laut lebih dari 100 mg/l. Dengan adanya fakta-fakta ini cukup beralasan jika dikatakan bahwa konsentrasi nitrit sebesar 0,28-0,58 mg/l NO₂-N selama percobaan memiliki efek yang dapat diabaikan terhadap udang windu.

Hasil penelitian menunjukkan fenol berpengaruh nyata menurunkan osmolaritas hemolimfe dan meningkatkan tingkat kerja osmotik udang windu pada berbagai konsentrasi fenol dalam media dengan pola respon berbentuk persamaan regresi linier $Y = 851,28 - 40,61 X$ ($R^2 = 0,94$, $p < 0,01$) dan $Y = -21,28 - 40,61 X$ ($R^2 = 0,94$, $p < 0,01$). NOEC dan LOEC dalam penurunan osmolaritas hemolimfe dan peningkatan tingkat kerja osmotik udang uji masing-masing berkisar 0 sampai 2,08 mg/l dan 2,08 mg/l.

Hal yang dapat disarankan adalah perlunya dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai efek fenol terhadap osmoregulasi udang windu, terutama efeknya terhadap berbagai jenis ion utama penentu osmolaritas seperti Na, Cl, Mg, K dan Ca.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada berbagai pihak yang telah membantu pelaksanaan dan publikasi penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Anonim. 2003. Pintu kesejahteraan rakyat. Suplemen Majalah Berita Mingguan Gatra No. 48 Tahun IX. 18 Oktober 2003. 1-3.
- APHA, AWWA and WPCF. 1989. Standard methods for the examination of water and waste water. American Public Health Association, Washington DC. 5-54.
- Ariens, E.J., E. Mutscler, and A.M. Simonis. 1993. Allgemeine toxiologie, eine einfuehrung (Toksikologi Umum: Pengantar, diterjemahkan oleh Y.E. Wattimena, M.B. Widiyanto, E.Y. Sukandar dan K. Padmawinata). Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. 279 p.
- Boyd, C.E. 1984. Water quality in warm water fish ponds. Auburn University, Agriculture. Experiment Station. Auburn. 279 p.
- Chen, J.C., T.S. Chin, and C.K Lee. 1985. Effect of ammonia and nitrite on larval development of tiger shrimp *Penaeus monodon*. In: The First Asian Fisheries Forum. J.L. MacLean, L.B. Dizon and L.V. Hosillos (Eds.). Asian Fisheries Society. Manila.: 657-662.
- Crawford, R.E. and G.H. Allen. 1977. Seawater inhibition of nitrite toxic to chinook salmon. Trans. Amer. Fish. Soc. 106: 105-109.
- Della Via, G.J. 1986. Salinity responses of the juvenile penaeid shrimp, *Penaeus japonicus*, II. Free amino acids. Aquaculture. 55: 307-316.
- Ferraris, R.P., F.D.P. Estepa, J.M. Ladja, and E.G. de Jesus. 1986. Osmoregulation in *Penaeus monodon* effects of molting and external salinity.

- In: The First Asian Fisheries Forum.* J.L. Maclean, L.B. Dizon and L.V. Hosillos (Eds.). Asian Fisheries Society. Manila.: 637-640.
- Fogels, A. and J.B. Sprague. 1977. Comparative short-term tolerance of zebra fish, flagfish and rainbow trout to five poisons including potential reference toxicants. *Water Res.* 11(9): 811-817.
- Gilles, R. 1979. Intracellular organic osmotic effectors. *In: Mechanism of osmoregulation in animals: maintenance of cell volume.* R. Gilles (Ed.). John Wiley and Sons. Chichester.: 111-154.
- Gilles, R. and A. Pequex. 1983. Interaction of chemical and osmotic regulation with the environment. *In: The biology of crustacean Vol. 8 : environmental adaptation.* F.J. Fernberg and W.J. Fernberg (Eds.). Academic Press, New York.: 383 p.
- Haeruddin. 2006. Analisis terpadu sedimen dalam penetapan status pencemaran estuari Wakak-Plumbon, Kabupaten Kendal, Jawa Tengah. Disertasi. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. 216 p.
- Ilyas, S., F. Cholik, A. Poernomo, W. Ismail, I.N.S. Rabegnatar, R. Arifuddin, S. Koesoemadinata, E. Danakusumah, dan S. Partasasmita. 1987. Petunjuk teknis bagi pengoperasian unit usaha pembenihan (hatchery) udang windu. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Jakarta. 162 p.
- Kamemoto, F. 1976. Neuroendocrinology of osmoregulation in decapod crustacean. *Am. Zool.* 16: 141-150.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup. 2004. Lampiran 3 Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut. Sekretariat Kementerian Negara Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Kristoffersson, R., S. Broberg, and A. Oikari. 1973. Physiological effects of a sublethal concentration of phenol in the pike (*Esox lucius* L.) in pure brackish water. *Ann. Zool. Fennici* 10: 392.
- Mantel, L.H. and L.L. Farmer. 1983. Osmotic and ionic regulation. *In: The biology of crustacean.* L.H. Mantel (Ed.). Academic Press, Inc., New York. 5: 53-161.
- Ozretic, M.K. and B. Ozretic. 1988. Toxic effects of phenols on grey mullet, *Mugil auratus* Risso. *Bull. Env. Contam. And Toxicol.* 40: 23-29
- Panggabean, L.M. and H.S. Sanusi. 1994. ASEAN-Marine Environmental quality criteria for phenols. Paper prepared for the midterm technical review conference. ASEAN-Canada Cooperative Programme on Marine Sciences (CPMS)-Phase II. October :24-28.
- Poernomo, A. 1988. Faktor lingkungan dominan pada budidaya udang intensif. Kumpulan Makalah Pentingnya Pengelolaan Mutu Air dalam Meningkatkan Produktivitas Tambak Udang. PT. Kalorin Kreasi Bahang. Jakarta. 68 p.
- Priatna, R.E., E. Syahbandi, and B. Sidewo. 1994. Phenol compound in produce water. Paper was prepared for presentation at the 2nd International Conference on Health Safety and Environment in oil and gas exploration and production. Jakarta. 365-370.
- Tomasso, J.R., B.A. Simco, and K.B.

- Davis. 1979. Chloride inhibition of nitrite induced methemoglobinemia in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Journal of Fish Resources Board Canada*. 36: 1141 - 1144
- Villaluz, D.K., A. Villaluz, B. Ladrera, M. Sheik and A. Gonzaga. 1977. Reproduction larva development and cultivation of sugpo (*Penaeus monodon* Fabricius). *Univ.Res.Cent. Mindanao State University. Mindanao*. 15 p.
- Wickins, J.F. 1976. Prawn biology and culture ocean. *Marine Bio. Ann. Rev.*14: 435-507.
- Wedemeyer, G.A. and W.T.Yasutake. 1978. Prevention and treatment of nitrite toxicity in juvenile steelhead trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of Fish Resources Board Canada*. 35 : 822 - 827.
- Yamaoka, L.H. and B.T. Scheer. 1970. Chemistry of growth and development in crustaceans. *In: Chemical zoology, Vol. 5 Arthropoda, part A*. M. Florkin and B.T. Scheer (Eds.). Academic press. New York.: 321-340.