

Dampak Pemaparan Logam Berat Kadmium pada Salinitas yang Berbeda terhadap Mortalitas dan Kerusakan Jaringan Insang Juvenile Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*)

Ervia Yudiati*, Sri Sedjati, Ipanna Enggar dan Irpan Hasibuan

Marine Science Laboratory, Teluk Awur Jepara & Jurusan Ilmu Kelautan,
Universitas Diponegoro, Semarang.

Telp 0291 599194, Hp.081326228096, Email: eyudiati@gmail.com

Abstrak

Uji toksisitas akut dilakukan pada juvenil udang vaname *Litopenaeus vannamei* dengan pemaparan jangka pendek (96 jam) berbagai konsentrasi logam kadmium. Uji statis digunakan sebagai teknik uji toksisitas. Tujuan dari studi ini adalah untuk menganalisis mortalitas dan kerusakan jaringan insang udang vaname yang didedah logam kadmium pada salinitas yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan toleransi udang vanamae terhadap logam kadmium menurun sejalan dengan penurunan tingkat salinitas. Tingkat toleransi yang rendah dan kerusakan jaringan terberat terjadi pada udang yang didedah pada salinitas 10 ppt (LC_{50} - 96 jam : 1,66 ppt Cd) diikuti berturut-turut salinitas 20 ppt (LC_{50} - 96 jam : 2,54 ppt Cd), 30 ppt (LC_{50} - 96 jam : 4,41 ppt Cd) dan 40 ppt (LC_{50} - 96 jam : 5,16 ppt Cd).

Kata kunci : Kadmium, Mortalitas, Insang, *Litopenaeus vannamei*, salinitas.

Abstract

Acute toxicity test was conducted on *Litopenaeus vannamei* on short term exposure (96 hours) to various concentration of cadmium at different salinity. A static test was applied as an acute toxicity test technique. The objective of this study was to assesst the mortality rate and the damage of gill tissue of *L. vannamei* exposed to cadmium at different salinity. Tolerance to these metal was decreased progressively according to the salinity level. The less tolerant salinity and the heaviest damage gill tissue was found at lowest salinity/10 ppt (96 h LC_{50} : 1.66 ppt Cd) and followed by 20 ppt (96 h LC_{50} : 2.54 ppt), 30ppt (96 h LC_{50} : 4.41 ppt), and 40 ppt (96 h LC_{50} : 5.16 ppt), respectively.

Key words : Cadmium, Mortality, Gill, *Litopenaeus vannamei*, salinity.

Pendahuluan

Introduksi udang vanamei (*Litopenaeus vannamei*) pertama kali di Indonesia di lakukan pada tahun 2001 dengan induk dan benur berasal dari Hawaii. Keunggulan dari udang vanamei ini adalah mampu dipelihara dengan sistem intensif dan dengan kepadatan tinggi dan berat udang ini dapat bertambah lebih dari 3 gram tiap minggu. Berat udang dewasa dapat mencapai 20 gram dengan pertumbuhan udang betina lebih cepat di dibandingkan dengan udang jantan (Adiwijaya, 2004). Besarnya potensi lahan perairan tawar yang dimiliki, adanya kesulitan mendapatkan air tawar pada musim-musim tertentu di daerah pesisir merupakan pertimbangan utama berkembangnya model budidaya desalinasi ini baik pada budidaya udang windu (Komarudin et al, 1999)

dan udang vaname (Adiwijaya, 2004). Namun perairan pada umumnya sangat retan terhadap kontaminasi logam berat yang disebabkan oleh aktifitas manusia, sehingga dampaknya terhadap udang yang dipelihara harus dipertimbangkan.

Logam berat kadmium (Cd) memasuki badan perairan dari berbagai macam kegiatan manusia baik secara langsung maupun tidak langsung. Masuknya bahan pencemar berupa kandungan logam berat tersebut sangat merugikan bagi kehidupan terutama bagi biota perairan termasuk biota laut, karena semua perairan pada akhirnya akan bermuara ke laut. Pada krustasea, seperti pada udang, logam berat ini dapat memapar insang yang merupakan organ yang sangat penting untuk respirasi, ekskresi, keseimbangan asam basa dan osmotik dan ionik regulasi (Soegianto et al. 1999). Menurut Wu et al. (2009), dibandingkan

*) Corresponding author

bagian tubuh lain yang terlindung eksoskeleton, insang mempunyai posisi yang terbuka, gampang terdedah oleh lingkungan terutama polutan yang berupa logam berat.

Salinitas juga dapat mempengaruhi keberadaan logam berat di perairan, bila terjadi penurunan salinitas karena adanya proses desalinasi maka akan menyebabkan peningkatan daya toksik logam berat dan tingkat bioakumulasi logam berat semakin besar (Erlangga, 2007). Berdasarkan dampak yang ditimbulkan dari pencemaran oleh logam berat tersebut terutama di badan perairan, maka sangat diperlukan kisaran konsentrasi atau nilai ambang batas dari konsentrasi logam berat yang direkomendasikan untuk masuk dan berada di lingkungan perairan. Disamping itu perlu diketahui pula dampak logam berat terutama Cd terhadap mortalitas udang vaname pada kisaran salinitas tertentu serta pengaruhnya terhadap kerusakan struktur insang.

Materi dan Metoda

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Budidaya Laut (*Marine Culture Laboratory*), Marine Station Teluk Awur, Jepara. Hewan uji yang digunakan adalah *L. vannamei* yang didapatkan dari hatchery Balai Besar Pengembangan Budidaya Air Payau, Jepara. Wadah uji yang digunakan adalah akuarium dengan volume 10 liter yang terbuat dari kaca yang terbukti aman dan tidak ada kemungkinan adanya fiksasi logam oleh dinding wadah.

Larutan induk (*stock solution*) kadmium 1000 ppm yang dipergunakan adalah produk Merck®. Media percobaan dipersiapkan dengan cara melarutkan larutan induk ke dalam air laut yang akan dipakai untuk uji toksisitas. Konsentrasi yang dipergunakan untuk uji toksisitas akut didasarkan pada uji kisaran konsentrasi (*range-finding test*). Kisaran konsentrasi kadmium yang dipergunakan adalah kontrol (0); 0,01; 0,1; 1; 10 dan 100 ppm. Berdasarkan uji kisaran konsentrasi, diketahui bahwa ambang bawah (LC_{0-48} jam) konsentrasi adalah 1 ppm, sedangkan ambang atas (LC_{100-24} jam) adalah 10 ppm (Tabel 1). Selanjutnya dilakukan perhitungan range finding test dan didapatkan empat kisaran konsentrasi yaitu kontrol (0); 1,78; 3,16; dan 5,62 ppm (Tabel 2).

Air media yang digunakan untuk uji toksisitas akut adalah air laut yang mengalami filtrasi biologis dengan menggunakan sand filter. Media dengan salinitas rendah dipersiapkan dengan cara melarutkan

dengan air PDAM sedangkan media dengan salinitas tinggi didapatkan dengan cara menguapkan air dengan perebusan sampai didapatkan salinitas yang diinginkan. Sebelum dilakukan uji, udang diaklimatisasi secara perlahan dengan memeliharanya pada media yang berbeda salinitas tidak lebih dari 5 ppt per hari sampai salinitas yang diinginkan tercapai.

Metode teknik pemaparan yang dipergunakan adalah metode statis. Salinitas, pH, suhu udara dan air diukur sebelum dan sesudah penelitian. Sebelum dilakukan pemaparan maka dilakukan aerasi selama 5 menit terhadap media uji agar terjadi kecukupan saturasi oksigen dalam air. Selama berlangsungnya uji, hewan uji tidak diberi pakan. Observasi mortalitas udang dilakukan pada jam ke 1, 2, 3, 6, 12, 24, 36, 48, 72 dan 96 (Sprague, 1969). Udang yang mati segera diangkat untuk menghindari pencemaran media uji. Dalam uji ini, respon hewan terhadap polutan dinyatakan dalam kondisi "hidup" atau "mati". Kriteria mortalitas udang adalah tidak adanya pergerakan hewan yang berarti terhadap sentuhan atau rangsangan (Swastika et al, 1992)

Perhitungan nilai LC_{50} dari data mortalitas yang didapat dilakukan dengan menggunakan analisis probit (Finney, 1952).

Analisa histologi dilakukan terhadap sampel udang yang sekarat (*moribound*) serta terindikasi terpapar logam kadmium yang difiksasi dengan larutan Davidson dan pewarnaan menggunakan Hematoxililn Eosin (Lightner, 1996). Pengujian sampel udang secara histopatologis dilaksanakan di Laboratorium Manajemen Kesehatan Akuatik, Balai Besar Pengembangan Air Payau, Jepara.

Hasil dan Pembahasan

Ion logam merupakan polutan khususnya di lingkungan perairan karena dapat masuk dalam rantai makanan dan terkandung pada organisme serta mengganggu aktifitas fisiologisnya. Insang merupakan bagian tubuh yang paling permiable yang berperan dalam respirasi dan transport ion pada proses osmoregulasi. Kajian terhadap aktifitas fisiologis, histologi dan ultrastruktur pad krustasea memperlihatkan bahwa ion logam berat mempengaruhi respirasi dan osmoregulasi dengan merusak struktur sel insang (Bubel, 1976; Couch, 1977; Papathanassiou & King, 1983; Papathanassiou, 1985; Soegianto et al., 1999; Sullivan, 2000; Wu et al., 2009).

Mortalitas juvenil udang vaname (%) pada

pemaparan logam kadmium pada salinitas yang berbeda pada uji range-finding test tersaji pada Tabel 1 dan 2 berikut.

Berdasarkan data mortalitas juvenil udang vaname tersebut, dapat ditentukan bahwa nilai ambang bawah adalah pada konsentrasi 1 ppm, sedangkan nilai ambang atas adalah 10 ppm. Nilai-nilai ambang bawah dan ambang atas selanjutnya dipergunakan sebagai dasar penghitungan dalam penentuan konsentrasi-konsentrasi uji dalam menentukan nilai LC₅₀. Adapun deret konsentrasi uji toksisitas LC₅₀ adalah: 0; 1,78; 3,16; dan 5,62 ppm (Tabel 2).

Hasil perhitungan toksisitas akut (LC50-96 jam) logam kadmium (Cd) terhadap juvenil udang vaname pada berbagai salinitas dapat dilihat pada Tabel 2.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan salinitas bisa menurunkan toksisitas akut logam berat Cd pada udang Vannamee. Keadaan ini bisa dijelaskan berkaitan dengan keberadaan ion Cd bebas yang mampu berinteraksi dengan sel hidup saat terabsorpsi ke dalam tubuh udang. Ion-ion ini akan mengganggu proses metabolisme dan pada dosis tertentu yang melewati ambang batas toleransi, keberadaannya akan menyebabkan kematian.

Sullivan (2000) melakukan uji toksisitas akut

statis pada krustasea lain, yaitu kepiting *Paragrapsus gaimardii* terhadap kadmium khlorida pada LC50% selama 96 jam pada suhu 5 dan 19°C serta salinitas 8,6; 17,5; 26,3 dan 34,6‰. Nilai LC50 yang didapat berkisar 15,7-101,9 mg Cd²⁺/l. Semakin tinggi suhu dan semakin rendah salinitas semakin tinggi tingkat kematian kepiting uji yang disebabkan oleh kadmium. Khususnya dampak salinitas, hal ini selaras dengan udang Vannamee pada penelitian ini.

Salinitas menggambarkan kandungan konsentrasi total ion yang terdapat pada perairan baik organik maupun anorganik. Salinitas air laut disebabkan oleh 7 ion utama, yaitu Natrium (Na⁺), Kalium (K⁺), Kalsium (Ca²⁺), Klorida (Cl⁻), Sulfat (SO₄²⁻), dan Bikarbonat (HCO₃³⁻) (Effendi, 2003). Logam berat yang terlarut dalam badan air secara alamiah berbentuk ion bebas, pasangan ion-ion anorganik, kompleks anorganik maupun organik (Connell & Miller, 1995). Kation Cd yang terlarut di air laut akan berinteraksi dengan anion-anion yang ada (Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃³⁻) membentuk kompleks anorganik ataupun organik sehingga akan mengurangi keberadaan ion Cd dalam bentuk bebas. Pada salinitas rendah akan terjadi peningkatan konsentrasi kation Cd bebas, karena yang membentuk molekul/ion kompleks relatif kecil. Hal ini diduga dapat menyebabkan kenaikan toksisitas akut logam berat Cd pada kondisi salinitas

Tabel 1. Mortalitas (%) juvenile udang vaname pada berbagai konsentrasi Cd dan salinitas

No	Salinitas (ppt)	Konsentrasi Cd (ppm)	Mortalitas (%)
1	10	0,001	0
		0,1	0
		1	0
		10	100
		100	100
2	20	0,001	0
		0,1	0
		1	100
		10	100
		100	100
3	30	0,001	0
		0,1	0
		1	0
		10	100
		100	100
4	40	0,001	0
		0,1	0
		1	0
		10	100
		100	100

Tabel 2. Toksisitas Akut Logam Berat Cd terhadap Udang Vaname pada Berbagai Salinitas

No	Salinitas (ppt)	Konsentrasi Cd (ppm)	Mortalitas (%)	LC50-96 jam (ppm)
1	10	0	0	1,66
		1,78	70,00	
		3,16	86,66	
		5,62	100,00	
2	20	0	0	2,54
		1,78	13,33	
		3,16	56,66	
		5,62	100,00	
3	30	0	0	4,41
		1,78	16,66	
		3,16	36,66	
		5,62	60,00	
4	40	0	0	5,16
		1,78	3,33	
		3,16	30,00	
		5,62	50,00	

rendah. Sesuai dengan laporan dari Mance (1990) bahwa salinitas menentukan toksisitas logam berat. Penurunan salinitas akan meningkatkan toksisitas logam berat (Sullivan, 2000).

Salinitas juga berpengaruh terhadap kemampuan osmotik dan ionik regulasi pada udang. Regulasi osmotik pada krustasea merupakan mekanisme yang penting untuk adaptasi lingkungan. Kapasitas pengaturan hipo-osmoregulator dari udang vaname pada 40 ppt dan hiper-osmoregulator pada salinitas 10 ppt menurun dengan cepat sejalan dengan meningkatnya konsentrasi kadmium di media yang menunjukkan adanya ketidakseimbangan ion-ion di dalam plasma. Hal yang sama dilaporkan pada penelitian Yulianto *et al* (1995) dengan berbagai fase udang *Penaeus japonicus* pada salinitas 38 dan 18 ppt.

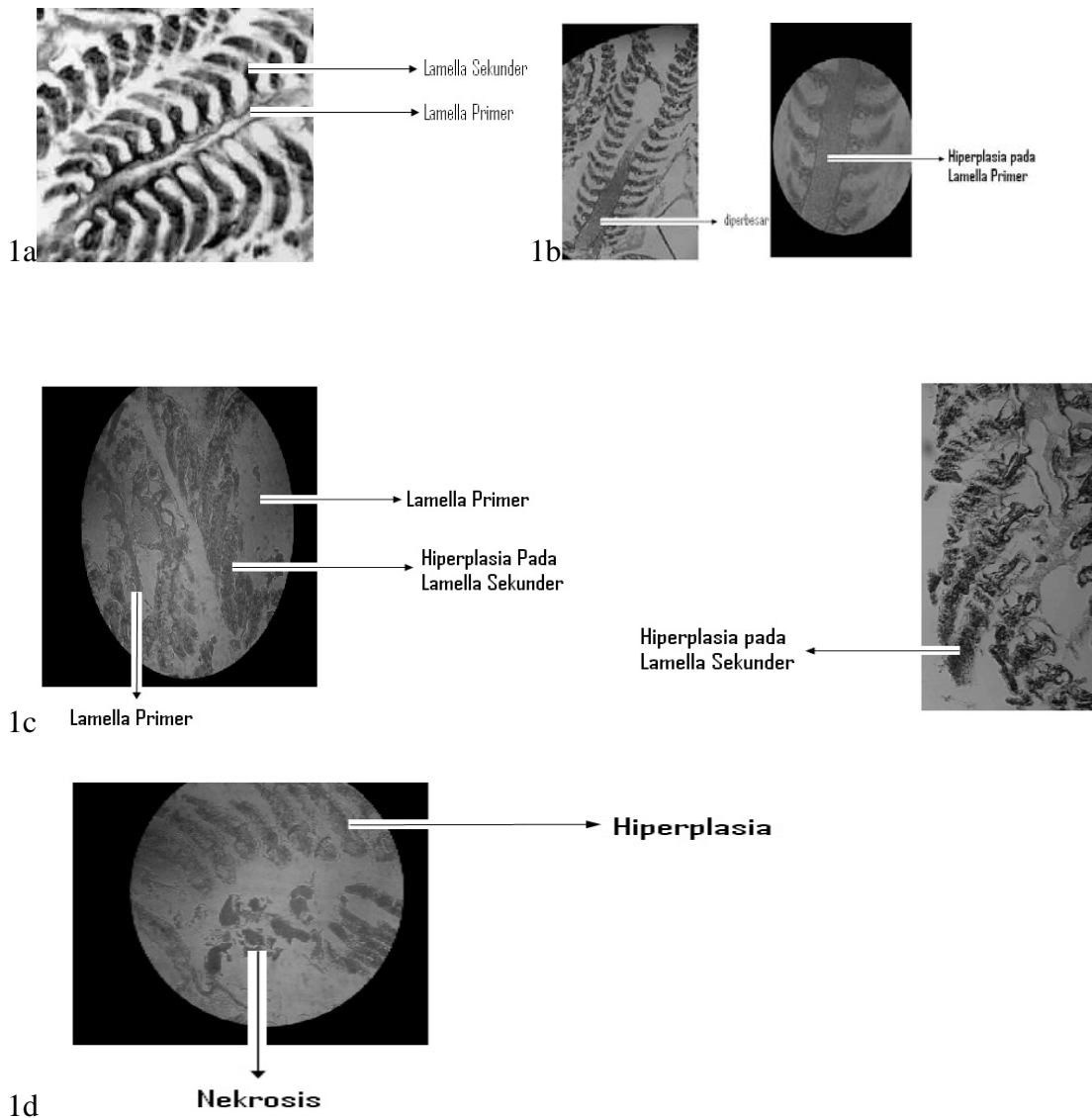
Udang vaname dikenal sebagai kultivar baru yang tahan terhadap tekanan lingkungan (Adiwijaya, 2004) karena habitat hidupnya adalah di kolom air dan bukan dasar kolam seperti udang windu (*Penaeus monodon*). Hal ini sesuai dengan penelitian Rachmansyah (1998) yang melaporkan bahwa nilai LC₅₀-96 pada udang windu (*Penaeus monodon*) adalah 0,88 ppm. Nilai ini jauh lebih rendah apabila dibandingkan dengan nilai LC₅₀-96 pada udang vaname pada penelitian ini.

Logam kadmium (Cd) memiliki afinitas yang tinggi terhadap unsur S yang menyebabkan logam ini menyerang ikatan belerang dalam enzim,

sehingga enzim bersangkutan menjadi tak aktif. Gugus karboksilat (-COOH) dan amina (-NH₂) juga bereaksi dengan logam berat. Kadmium akan terikat pada sel-sel membran yang menghambat proses transportasi melalui dinding sel. Logam berat juga mengendapkan senyawa fosfat biologis atau mengkatalis penguraiannya (Manahan, 1977).

Pengambilan awal logam berat oleh makhluk hidup air dapat melalui tiga proses utama, yaitu melalui pernafasan (permukaan insang), melalui permukaan tubuh (kulit) dan melalui makanan, partikel serta air yang masuk sistem pencernaan (Connell & Miller, 1995). Insang merupakan jalan masuk air yang penting, karena permukaan insang lebih dari 90% seluruh luas badan. Masuknya logam berat ke dalam insang dapat menyebabkan keracunan, karena bereaksinya kation logam tersebut dengan fraksi tertentu dari lendir insang. Kondisi ini menyebabkan proses metabolisme dari insang menjadi terganggu. Lendir yang berfungsi sebagai pelindung diproduksi lebih banyak sehingga terjadi penumpukan lendir. Hal ini akan memperlambat respirasi dan pengikatan oksigen pada insang dan pada akhirnya menyebabkan kematian (Cahaya, 2003).

Hasil histologi pada juvenile vaname yang terpapar logam kadmium menunjukkan terjadinya kerusakan jaringan berupa hiperplasia pada salinitas 40 dan 30 ppt (Gambar 1a dan 1b). Sedangkan pada salinitas 20 dan 10 ppt menunjukkan adanya kerusakan jaringan atau nekrosis (Gambar 1c).



Gambar 1. Histologi insang udang vaname yang terpapar logam Kadmium.

Keterangan : 1a) Insang udang normal 1b) Insang yang mengalami hiperplasia (salinitas 40 dan 30 ppt) 1c) Insang yang mengalami hiperplasia (salinitas 20 dan 10 ppt) 1d) Insang yang mengalami hiperplasia dan nekrosis (salinitas 20 dan 10 ppt).

Nekrosis yang terjadi pada jaringan pernafasan ini pada akhirnya akan mengurangi laju respirasi dan kematian akut. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilaporkan oleh Rahmansyah *et al.*, (1998) bahwa logam berat secara fisiologis dapat menurunkan fungsi organ seperti insang, ginjal, otot dan syaraf sehingga tidak berfungsi sebagaimana mestinya. Hasil yang sama juga didapatkan oleh Wu *et al.* (2009) dimana paparan akut pada konsentrasi Cd yang tinggi menyebabkan perubahan histologi insang *L. vannamei*.

Akumulasi cadmium pada insang *Palaemon*

serratus (Pennant) (Crustacea, Decapoda) dan perubahan struktur sel insang yang didedah dengan tiga konsentrasi Cd (5, 25 and 50 ppm) juga telah diamati oleh Papathanassiou & King (1983). Waktu dedah adalah 44 jam sebagai LT_{50} (waktu yang diperlukan 50% udang uji mati) dalam 50 ppm Cd pada 15°C (salinitas 30‰). Akumulasi Cd tertinggi (1500%) pada konsentrasi Cd 50 ppm dibandingkan tanpa Cd. Struktur sel insang *P. serratus* juga sangat dipengaruhi oleh ion Cd pada konsentrasi 50 ppm, dan mitochondria merupakan organela yang sangat

terpengaruh. Proses pinocytotic dan sistem membran sangat berpengaruh sehingga proses osmoregulasi sangat terganggu (Papathanassiou & King, 1983)

Pengaruh salinitas yang berbeda dan konsentrasi ion copper, mercury dan cadmium pada insang krustasea Isopoda *Jaera nordmanni* telah diteliti oleh Bubel (1974). Setelah didedeh dengan air laut 10 dan 50 ‰, epitel insang memperlihatkan penampakan yang seragam dan terdapat ruang subkutikula yang besar antara mikrovilinya. Perubahan yang sama juga nampak pada sel epitel insangnya pada saat didedeh logam berat, sehingga sel-sel menjadi pecah. Perubahan ultrastruktur seperti pembengkakan mikrovili, melebarnya retikulum endoplasmik disorientasi ribosom, sitoplasma yang terdifusi, membengkaknya mitokondria dan lepasnya membran basal dari basal lamina. Meningkatnya jumlah haemocytes juga umum terjadi di rongga heamolim selama terdedah logam berat (Bubel, 1974).

Pengamatan terhadap patologi insang *Penaeus duorarum* yang terdedah kadmium khlorida 763 µg/l selama 15 days hari telah diamati dengan TEM (transmission electron microscopy) oleh Couch (1977). Hasilnya memperlihatkan bahwa terdapat noktah hitam yang menunjukkan sel-sel mati dan nekrosis di filamen insang udang *P. duorarum* yang terdedah kadmium. Menurut Couch (1977) nekrosis dari sel epitel dan sel septum pada filamen insang menyebabkan disfungsi osmoregulatori, detoksifikasi dan respirasi pada krustasea, khususnya pada udang yang terkena stress lingkungan seperti fluktuasi salinitas.

Parameter kualitas air sebelum dan sesudah penelitian tidak menunjukkan adanya variasi yang besar. Suhu udara berkisar 27,5–32°C, suhu air 27–29°C, pH 7,0–7,3. Secara keseluruhan nilai kisaran kualitas air masih mendukung untuk kehidupan udang vaname. Dengan demikian, kualitas air bukan merupakan faktor penyebab mortalitas udang vaname selama penelitian.

Berdasarkan data diatas dapat dilihat bahwa proses desalinasi udang vaname tidak akan efektif apabila terjadi pencemaran oleh logam berat kadmium di dalam perairan. Desalinasi menyebabkan salinitas air rendah sehingga udang vaname tidak mampu mentolerir keberadaan logam kadmium. Penggunaan air tawar atau payau dengan salinitas rendah sebagai lahan budidaya dalam upaya ekstensifikasi lahan

perlu dikaji lebih lanjut.

Kesimpulan

Tingkat toleransi terendah dan kerusakan jaringan insang terberat terhadap pemaparan logam berat Kadmium pada juvenile udang vaname (*L. vannamei*) terjadi pada salinitas 10 ppt. Sedangkan salinitas 20, 30 dan 40 ppt memberikan tingkat toleransi yang lebih baik dan kerusakan jaringan insang yang lebih ringan.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami ucapkan kepada Ir. Suryono M.Sc selaku Ketua Pengelola Marine Science Teluk Awur serta Sdr. Noor Fahriss yang membantu dalam proses histopatologis jaringan insang.

Daftar Pustaka

- Adiwidjaya, D. 2004. Budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) intensif yang berkelanjutan. Balai Besar Pengembangan Budidaya Air Payau. Jepara. 33 hal.
- Bubel, A. 1976. Histological and electron microscopical observations on the effects of different salinities and heavy metal ions, on the gills of *Jaera nordmanni* (Rathke) (Crustacea, Isopoda). *Cell and Tissue Research* 167(1): 65-95
- Cahaya I, 2003. Ikan sebagai Alat Monitor Pencemaran. <http://library.usu.ac.id/download/fkm/fkm-indra%20c2.pdf>
- Connell, D.W. dan Miller, G.J. 1995. Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran. UI-Press,
- Couch, J.A. 1977. Ultrastructural study of lesions in gills of a marine shrimp exposed to cadmium. *Journal of Invertebrate Pathology* 29(3):267-288
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius, Yogyakarta
- Erlangga, 2007. Efek pencemaran perairan Sungai Kampar di Propinsi Riau terhadap Ikan Baung (*Hemobagrus hemurus*). Thesis. Sekolah Pascasarjana IPB Bogor. 87 hal.
- Finney, D.J. 1952. Probit analysis: a statistical treatment of the sigmoid response curve. 2nd ed. Cambridge Univ. Press. London. 318 p.
- Komarudin, U., Arifin Z. & W. Hardanu. 1999. Produksi Juvenil Udang Windu Air Tawar. Proc. Pertemuan

- Perekayasaan Teknologi Perbenihan Air Tawar, Payau dan Laut – Lintas UPT. Dirjen Perikanan. Bogor.
- Lightner, D.V. 1996. A handbook of shrimp pathology and diagnostic procedures for diseases of cultured peaneid shrimps. The World Aquaculture Society. Louisiana. USA.
- Manahan, S.E. 1977. Environmental Chemistry. Second Ed. Williard Press. Boston.
- Mance, G. 1990 Pollution Threat of the Heavy Metal in Aquatic Environment. Page Bross Limited. London. 235 pp.
- Papathanassiou, E. & P. E. King. 1983. Ultrastructural studies on the gills of *Palaemon serratus* (Pennant) in relation to cadmium accumulation. *Aquatic Toxicology* 3(4):273-284
- Papathanassiou, E. 1985. Effects of Cadmium Ions on the Ultrastructure of the Gill Cells of the Brown Shrimp *Crangon crangon* (L.) (Decapoda, Caridea). *Crustaceana*, 48(1):6-17
- Rachmansyah, Dalfiah, Pongmasak P.R., & Ahmad T. 1998. Uji Toksisitas Logan Berat terhadap Benur Udang Windu (*Penaeus monodon*) dan Nener Bandeng (*Chanos chanos*). *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia* IV(1) : 55-65
- Soegianto A, Charmantier-Daures M, Trilles J, & Charmantier G. 1999. Impact of cadmium on the structure of gills and epipodites of the shrimp *Penaeus japonicus* (Crustacea: Decapoda). *Aquat Living Resour* 12:57-70. doi:10.1016/S0990-7440 (99)80015-1
- Sprague, J.B. 1969. Measurement of pollutant toxicity to fish to fish. I. Bioassay methods for accute toxicity. *Water Res.*, 3: 793-821.
- Sullivan JK , 2000. Effects of salinty and temperature on the acute toxicity of cadmium to the estuarine crab *Paragrapsus gaimardii* (Milne Edwards) *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 28(6) 739 – 743.
- Swastika, I.B.M., C. Kokarkin C., & A. Taslihan. 1992. The use of enrofloxacin to prevent mortality of tiger shrim (*Penaeus monodon*) larvae due to *Vibrio* sp. *Bull. Brackishwater Aquaculture Dev. Cent.* 9: 31-35.
- Wu, J.P., H.C. Chen & D.J. Huang., 2009. Histopathological Alterations in Gills of White Shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone) After Acute Exposure to Cadmium and Zinc. *Bull. Of Environmental Contamination and Toxicology* 82(1):90-95.
- Yulianto, B., Charmantier G., Thuet P., & J.P. Trilles. 1995. Effect of cadmium on survival and osmoregulation on various developmental stages of the shrimp *Penaeus japonicus* (Crustacea: Decapoda). *Marine Biology* 123: 443-450.