

AKUMULASI LOGAM BERAT Pb DALAM TUBUH UDANG WINDU (*Penaeus monodon*) PADA KONDISI SALINITAS BERBEDA

Petrus Rani Pong-Masak dan Rachmansyah

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tingkat salinitas media pemeliharaan terhadap konsentrasi akumulasi logam Pb dalam tubuh udang windu (*Penaeus monodon*). Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan rancangan acak lengkap dengan perlakuan salinitas 10, 15, 20, dan 25 ppt masing-masing diulang tiga kali. Setiap unit percobaan diaplikasikan dengan logam berat Pb dalam bentuk senyawa $(\text{CH}_3\text{COO})_2\cdot\text{Pb}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ sebesar 2 mg/L. Konsentrasi akumulasi Pb dalam tubuh udang windu dianalisis dengan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS). Korelasi tingkat salinitas perlakuan dengan konsentrasi akumulasi Pb dalam tubuh udang windu dianalisis secara regresi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa salinitas berpengaruh nyata terhadap tingkat akumulasi Pb. Semakin tinggi salinitas maka konsentrasi akumulasi Pb semakin rendah. Sedangkan organ tubuh yang paling berpotensi mengakumulasi Pb adalah organ dalam, kemudian *exoskeleton* dan terendah dalam daging.

ABSTRACT: *Heavy metal Pb accumulation on tiger prawn (*Penaeus monodon*) body in different salinity levels. By: Petrus Rani Pong-Masak and Rachmansyah*

*This research aimed to understand the implication of developing media salinity levels toward Pb metal accumulation concentrated on tiger prawn body (*Penaeus monodon*). The research was conducted at laboratory scale using complete random design with salinity treatments of 10, 15, 20, and 25 ppt repeated for three times. Every treatment unit was applied with Pb heavy metal in compound form $(\text{CH}_3\text{COO})_2\cdot\text{Pb}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ in the amount of 2 mg/L. Pb accumulated concentration on tiger prawn body was analyzed by Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). Correlation of the treated salinity levels with Pb accumulated concentration on tiger prawn body was analyzed by regression. Research results showed that salinity significantly effected the Pb accumulation level. The higher salinities the lower Pb accumulation concentration. Nevertheless, while part of the body which was most potential to accumulate Pb was the cirrus viscerum, followed with *exoskeleton* while the lowest was in the meat.*

KEYWORDS: *accumulation, Pb, salinity, tiger prawn*

PENDAHULUAN

Secara alamiah Plumbum (Pb) masuk ke dalam perairan melalui pengkristalan di udara dengan bantuan air hujan dan proses korosifikasi dari batuan mineral akibat hempasan gelombang dan angin. Sumber dari dampak kegiatan manusia di antaranya limbah industri yang berkaitan dengan Pb, air buangan dari pertambangan biji Pb, dan buangan sisa baterai. Masuknya Pb secara kontinyu ke dalam perairan akan meningkatkan konsentrasinya, sehingga dapat menyebabkan bioakumulasi dan biomagnifikasi pada biota perairan, bahkan dapat membunuh ikan-ikan apabila dalam air mencapai konsentrasi 188 mg/L (Palar, 1994).

Kondisi demikian selain berdampak langsung terhadap biota budi daya, juga akan menyebabkan punahnya satu atau beberapa spesies tertentu yang berdampak pada ketidakseimbangan ekosistem akibat dominansi spesies tertentu. Apabila dampak

negatif tersebut tidak diantisipasi akan mengurangi sumber daya hayati perairan, daya dukung lahan, serta munculnya hama atau penyakit yang tidak terkendali. Selain itu, dampak bahan-bahan beracun yang terkonsentrasi dalam biota perairan sebagai sumber pangan dapat mengancam kesehatan manusia sebagai konsumen akhir. Naid & Seniwati (1998) menyatakan bahwa keracunan kronik Pb diindikasikan dengan gejala-gejala seperti anemia, kram usus, kelelahan, nafsu makan hilang, dan pada anak-anak dapat merusak otak.

Pada konsentrasi tertentu, Pb memiliki berbagai manfaat dalam kehidupan sehari-hari terhadap kesehatan manusia maupun dalam mendukung kemajuan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi IPTEK di berbagai sektor pembangunan. Pb merupakan komponen penting dalam pembentukan tulang (Huheey, 1983), namun dalam dosis yang tinggi Pb adalah logam beracun dan berbahaya terhadap penyumbatan sel-sel darah merah dan mempengaruhi

¹⁾ Peneliti pada Balai Penelitian Perikanan Pantai, Maros

anggota tubuh lainnya. Gan *et al.* (1981) menyatakan bahwa keracunan Pb dalam darah dapat menyebabkan anemia karena dapat bereaksi dengan enzim yang berhubungan dengan sintesis butir darah merah.

Udang windu sebagai komoditas perikanan bernilai ekonomi, sangat rentan terhadap pencemaran dan perubahan lingkungan. Salah satu parameter kualitas perairan yang berpengaruh terhadap kehidupan udang windu adalah salinitas. Salinitas di perairan tambak sangat berfluktuasi akibat proses hidrodinamika perairan pesisir seperti pasang surut, presipitasi, evaporasi, dan rembesan. Kinne (1964) melaporkan bahwa fluktuasi salinitas dapat mempengaruhi osmoregulasi dan adaptasi osmotik organisme air. Hasil penelitian yang dilaporkan Connel (1995) diketahui bahwa penurunan salinitas dari 30 ppt ke 20 ppt akan menghasilkan kenaikan 400% bioakumulasi Kadmium (Cd) oleh bivalva laut. Selanjutnya Denton & Jones (1982) menyatakan bahwa organisme perairan lebih peka terhadap logam berat pada suhu tinggi dan salinitas rendah. Dengan demikian peran salinitas sangat penting untuk kehidupan organisme perairan.

Berdasarkan uraian di atas diduga tingkat dan laju penyerapan logam berat Pb oleh udang windu dalam jaringan tubuhnya berbeda pada tingkatan salinitas pemeliharaan. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh salinitas media pemeliharaan terhadap laju akumulasi logam berat Pb dalam tubuh udang windu (*Penaeus monodon*). Hasil penelitian dapat menjadi informasi bagi pengelolaan sumber daya perairan untuk mendukung pengelolaan dan teknis budi daya udang windu. Selain itu data yang diperoleh dapat berupa acuan dalam mengantisipasi keamanan pangan yang bersumber dari produk perairan pesisir.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan di Instalasi Tambak Percobaan Maranak, Balai Penelitian Perikanan Pantai Maros, Sulawesi Selatan. Kegiatan dimulai dengan membersihkan wadah yaitu *fibreglass* bentuk segi empat bervolume 100 L sebanyak 12 buah, kemudian setiap wadah diisi air sebanyak 75 L berdasarkan tingkat salinitas perlakuan. Air yang digunakan terlebih dahulu disaring menggunakan *filter bag* dan diaerasi selama 3 hari secara kontinyu dalam wadah penampungan. Instalasi aerasi dipasang untuk memasok kebutuhan oksigen bagi kelayakan hidup hewan uji. Hewan uji yang digunakan adalah udang windu (*Penaeus monodon*) dengan kisaran bobot 35-40 g yang diperoleh dari tambak petani sekitar lokasi penelitian. Proses pengumpulan udang dengan alat tangkap sero kemudian dibawa ke laboratorium dalam kantong plastik transparan yang diberi oksigen.

Adaptasi dilakukan selama tujuh hari untuk memulihkan *stress* dan penyesuaian salinitas perlakuan dalam kondisi laboratorium.

Sebelum percobaan dimulai, sampling awal dilakukan untuk mengetahui konsentrasi awal Pb dalam tubuh udang windu. Percobaan disusun dalam rancangan acak lengkap (RAL) dengan empat perlakuan, yaitu salinitas 10, 15, 20, dan 25 ppt, dan masing-masing perlakuan diulang tiga kali. Ke dalam setiap wadah dimasukkan udang windu sebanyak 15 ekor secara acak. Setelah hewan uji teraklimatisasi dan layak uji, ditandai dengan pergerakan normal dan aktif makan, maka logam berat Pb dalam bentuk senyawa $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ diformulasikan ke dalam setiap wadah pada konsentrasi 2 mg/L. Konsentrasi tersebut diturunkan 15% dari nilai LC_{50}^{-96} jam Pb terhadap benur windu sebesar 14,53 mg/L berdasarkan penelitian sebelumnya (Rachmansyah *et al.*, 1998). Selama pemeliharaan, hewan uji diberi pakan komersial sebanyak 5% dari bobot biomassa per hari dengan frekuensi pemberian empat kali. Untuk menjaga kestabilan konsentrasi Pb dan kelayakan kualitas media, maka dilakukan pergantian air sebanyak 50%/hari dari volume setiap wadah dengan tetap mempertahankan konsentrasi awal Pb dalam media sebesar 2 mg/L. Pemeliharaan berlangsung selama 9 hari, di mana pengambilan sampel dilakukan pada 3, 6, dan 9 hari setelah aplikasi masing-masing sebanyak 4 ekor. Sampel dipreservasi dalam *cool box* dan dibawa ke laboratorium untuk analisis konsentrasi Pb dalam tubuh udang windu menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) model *GBC double beam 902*. Proses preservasi dan analisis sampel berpedoman pada Khopkar (1990). Sampel dipisahkan dan dianalisis berdasarkan organ yaitu otak dan usus (*citus viscerum*), daging (*meat*), dan kulit (*exoskeleton*). Untuk menentukan konsentrasi Pb dari hasil analisis dalam setiap organ tubuh digunakan rumus sebagai berikut:

$$C = \frac{V \times c}{a}$$

dengan:

C = konsentrasi Pb dalam organ tubuh udang windu (mg/g)

V = volume penepatan (mL)

c = konsentrasi larutan contoh (mg/g)

a = bobot sampel (g)

Untuk mengetahui pengaruh perlakuan, data dianalisis secara ragam, sedangkan keeratan hubungan antara tingkat salinitas dengan kandungan logam Pb dalam tubuh udang dianalisis secara regresi.

Selama pemeliharaan berlangsung dilakukan pengukuran kualitas media pemeliharaan untuk

memantau kelayakan media uji terhadap kehidupan udang windu. Parameter kualitas air yang diukur serta metode pengukurannya adalah temperatur ($^{\circ}\text{C}$) *Triple-scale Patinum RTD thermometer J-8519-00 CP* (-191 sampai 407°C); pH *LED digi-sense pH meter model C-5513-55 CP*; oksigen terlarut (mg/L) *DO-meter model J-5513-55 CP* (0,00-19,00 mg/L).

HASIL DAN BAHASAN

Hasil analisis pengaruh Pb dalam organ udang windu pada tingkat salinitas berbeda diperlihatkan pada Tabel 1, sedangkan laju akumulasi Pb dalam organ udang windu selama aplikasi 9 hari diperlihatkan pada Gambar 1, 2, dan 3. Secara umum konsentrasi Pb dalam setiap organ menunjukkan korelasi positif dengan waktu aplikasi di mana konsentrasi semakin meningkat dengan semakin lamanya waktu aplikasi.

pat bahwa akumulasi terjadi karena logam berat dalam tubuh organisme cenderung membentuk senyawa kompleks dengan zat-zat organik yang terdapat dalam tubuh organisme. Dengan demikian berarti terfiksasi dan tidak diekskresikan oleh organisme bersangkutan.

Masuknya logam berat ke dalam perairan secara langsung akan mempengaruhi proses bioakumulasi dan apabila melebihi konsentrasi alamiah akan memberikan pengaruh yang sangat merugikan bagi organisme budi daya bahkan dapat mengancam kesehatan manusia. Menurut Casper (1975) dalam Hutagalung (1991), bahwa secara alamiah logam berat masuk ke dalam organisme laut melalui rantai makanan, sehingga pemangsa yang berukuran lebih besar seperti ikan mengandung logam berat yang tinggi, tetapi kandungan tertinggi umumnya ditemukan dalam invertebrata jenis *filter feeder* dan dapat terjadi pada manusia sebagai konsumen terakhir.

Tabel 1. Regresi linier pengaruh Pb dalam organ udang windu pada salinitas berbeda
 Table 1. Linier regression of Pb effect in tiger prawn organ at different salinity

Organ Organ	Regresi linier Linier regression	F-cal	r ²
Daging/Meat	$Y = 4.6452 - 0.2032X_1 + 0.3921X_2$	43.86 (p=0.00)	0.9069
Karapaks/Exoskeleton	$Y = 25.756 - 0.9886X_1 + 2.0396X_2$	45.08 (p=0.00)	0.9092
Otak dan usus Brain and citus viscerum	$Y = 24.776 - 1.88769X_1 + 6.8392X_2$	47.22 (p=0.00)	0.9130

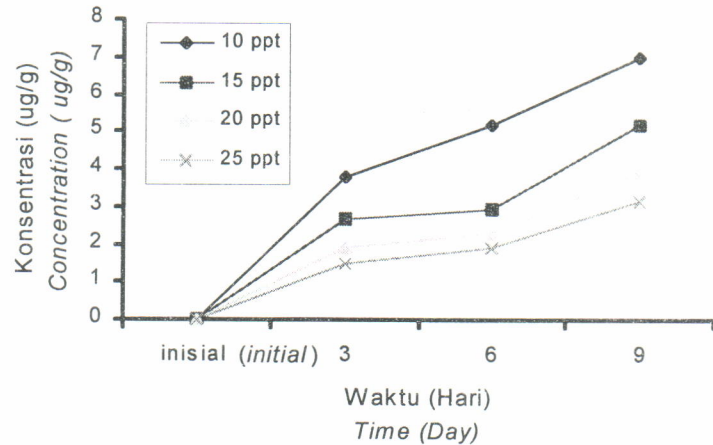
Keterangan: X_1 = Salinitas
 X_2 = Waktu pemaparan
 Note: X_1 = Salinity
 X_2 = Exposure time

Penyerapan Pb yang terus meningkat dalam tubuh udang windu dimungkinkan oleh beberapa jalur penyerapan antara lain melalui pakan, penyerapan langsung dari air, dan proses difusi melalui karapas yang didukung oleh faktor-faktor internal maupun eksternal udang windu. Pb yang masuk ke dalam sistem metabolisme akan mengalami proses sirkulasi melalui peredaran darah, sehingga menyebar dan akan terkonsentrasi dalam setiap organ sebesar kapasitas kerja dan fungsinya. Selain itu, adanya proses osmoregulasi dan difusi melalui kulit memungkinkan peningkatan dalam organ karapas.

Kemampuan absorpsi Pb yang lebih tinggi daripada laju eliminasi juga merupakan faktor penentu semakin tingginya akumulasi, di mana proses detoksifikasi oleh udang windu terhadap Pb yang terserap lebih kecil. Loomis (1978) menyatakan bahwa kadar zat kimia dalam tubuh suatu hewan akan stabil dalam suatu selang waktu bila laju absorpsi sama dengan laju eliminasinya. Selanjutnya Waldichuk (1974) berpenda-

Perubahan salinitas berpengaruh secara langsung terhadap kemampuan akumulasi Pb pada setiap organ udang windu. Hasil analisis dalam organ daging menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi Pb terjadi dengan semakin turunnya salinitas. Pada penurunan salinitas dari 25 ppt ke 20 ppt dan 15 ppt untuk setiap waktu pengamatan menunjukkan penurunan yang relatif kecil, kemudian pada salinitas 10 ppt laju peningkatan akumulasi Pb semakin meningkat (Gambar 1).

Konsentrasi Pb yang terus meningkat akan menyebabkan kerusakan dalam jaringan udang windu terutama menghambat fungsi masing-masing organ. Loomis (1978) berpendapat bahwa apabila dosis tunggal suatu zat kimia mengubah fungsi bagian dalam dari seekor hewan kemudian pemberian zat tersebut dihentikan, maka mekanisme biokimia, fungsi, dan struktur apapun yang telah berubah biasanya kembali ke normal dalam waktu tertentu, setelah zat kimia tersebut meninggalkan hewannya



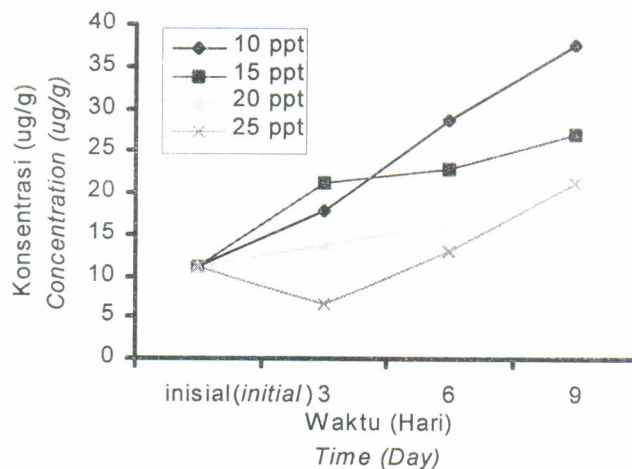
Gambar 1. Akumulasi Pb dalam daging udang windu pada salinitas berbeda
 Figure 1. Accumulation of Pb in tiger prawn meat on different salinity

secara ekskresi atau detoksikasi, yaitu dengan mengganti sel-sel yang rusak. Namun jika kerusakan sedemikian besar akibat pemberian secara terus-menerus akan menyebabkan penumpukan, sehingga efek toksiknya lebih sensitif.

Determinasi konsentrasi Pb selama pemeliharaan pada organ karapaks memperlihatkan bahwa tingkatan salinitas perlakuan mempunyai laju akumulasi berbeda (Gambar 2). Hal tersebut dimungkinkan oleh fisiologi udang windu yang dalam waktu tertentu mengalami proses *moulting*, sehingga Pb yang masuk

Akumulasi Pb pada organ dalam udang windu memperlihatkan bahwa konsentrasi sebelum aplikasi sampai 3 hari setelah aplikasi relatif sama dan bahkan pada konsentrasi 25 ppt lebih rendah pada 3 hari setelah aplikasi, kemudian meningkat pada 6 dan 9 hari setelah aplikasi (Gambar 3).

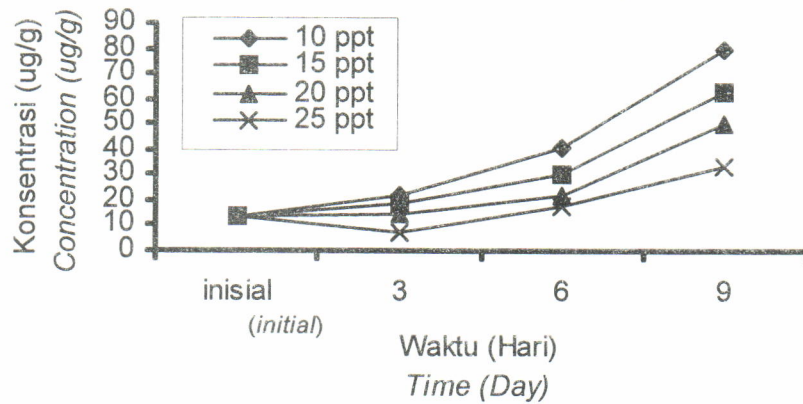
Peningkatan konsentrasi Pb pada salinitas rendah diduga disebabkan oleh masuknya air melalui proses osmosis pada kondisi salinitas rendah, sehingga memungkinkan masuknya ion-ion mineral termasuk Pb yang terkandung dalam air dan sebaliknya.



Gambar 2. Akumulasi Pb dalam karapas udang windu pada salinitas berbeda
 Figure 2. Accumulation of Pb in tiger prawn exoskeleton on different salinity

dan terkonsentrasi pada karapas akan ikut terbuang pada saat *moulting*. Pada perlakuan salinitas 25 ppt terlihat bahwa konsentrasi Pb pada hari ketiga setelah aplikasi lebih rendah dibandingkan sebelum aplikasi, kemudian meningkat terus sampai penurunan salinitas 15 ppt dan pada salinitas 10 ppt konsentrasi Pb mengalami penurunan. Pada pemaparan 6 dan 9 hari memperlihatkan laju peningkatan konsentrasi dengan semakin turunnya salinitas.

Sumeru & Anna (1992) berpendapat bahwa udang windu dalam adaptasinya terhadap lingkungan air bersalinitas tinggi akan banyak kehilangan air melalui difusi keluar tubuhnya, sehingga memungkinkan ion-ion yang masuk bersama air atau makanan tersimpan dalam organ-organ tubuhnya. Pernyataan tersebut didukung oleh Putri (2001) bahwa logam berat di dalam perairan diikat oleh senyawa organik dan anorganik yang terkandung dalam air. Proses pengikatan oleh



Gambar 3. Akumulasi Pb dalam otak dan usus udang windu pada salinitas berbeda
 Figure 3. Accumulation of Pb in tiger prawn brain and intestine on different salinity

senyawa organik dan anorganik dalam air tawar lebih besar daripada air laut, karena senyawa organik dan anorganik dalam air tawar lebih tinggi. Oleh karena itu potensi pencernaran logam berat di air tawar lebih besar dibandingkan air laut.

Pengambilan awal logam oleh makhluk hidup air dapat terjadi dalam tiga proses utama yaitu dari air melalui permukaan pernafasan (misalnya insang); penyerapan dari air ke dalam permukaan tubuh; dan dari makanan, partikel, atau air yang dicerna melalui sistem pencernaan (Connel & Miller, 1995). Kecepatan penyerapan dipengaruhi oleh perubahan dalam faktor fisika-kimia, misalnya suhu, pH, dan salinitas dalam ciri-ciri fisiologis dan perilaku makhluk hidup tersebut. Sedangkan pengeluaran logam berat dari dalam tubuh organisme laut melalui dua cara yaitu ekskresi melalui permukaan tubuh dan insang serta melalui isi perut dan urin (Madelli, 1989 dalam Hutagalung, 1991).

Penyerapan logam oleh krustase menurut Connel & Miller (1995), adalah jika logam larut dalam air melalui permukaan tubuh, misalnya kulit ari, diikuti dengan difusi melalui permukaan, misalnya epitelium insang, mungkin dilekatkan pada ligan organik dan protein dalam. Jika logam masuk bersama makanan maka pada krustase yang lebih besar, misalnya udang karang, penyerapan dari perut atau sistem pencernaan muncul lebih penting. Penyerapan dari larutan tampak paling penting bagi udang dan isopoda-isopoda laut. Namun kandungan logam sedimen juga sangat berpengaruh terhadap bioakumulasi logam, karena krustase selalu bergerak di dasar perairan.

Umumnya makhluk hidup air mampu mengatur kepekatan abnormal logam terutama yang essensial, namun terdapat batas maksimum jumlah logam yang dapat diekskresikan oleh ikan dan krustase apabila

terjadi akumulasi dalam jaringan tubuh. Melalui proses tersebut, perbedaan kepekatan logam akan terdeteksi jelas pada spesies tunggal yang diambil dari air yang sama-sama tercemar.

Hasil pengukuran peubah kualitas air selama percobaan menunjukkan kisaran yang layak bagi pertumbuhan dan sintasan udang windu (Tabel 2). Peubah kualitas air dalam penelitian toksikologi berperan penting karena mempunyai pengaruh langsung terhadap perubahan media uji, sehingga dapat berpengaruh terhadap sintasanya. Pengaruh langsung logam berat yang diaplikasikan seperti pengaruh kecerahan air, nafsu makan, densitas sehingga mempengaruhi gerakan hewan uji, sedangkan pengaruh tidak langsung yaitu dapat berinteraksi secara kimiawi dengan unsur lain dalam media, baik hubungan sinergis maupun antagonistik.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian akumulasi Pb dalam tubuh udang windu, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Akumulasi Pb dalam jaringan udang windu semakin rendah dengan semakin meningkatnya salinitas dan sebaliknya.
2. Organ otak dan usus udang windu lebih berpotensi mengakumulasi Pb dibandingkan organ kulit dan daging.

Saran

Selama operasional budi daya disarankan mempertahankan kondisi salinitas optimal untuk pertumbuhan udang windu agar mengurangi absorpsi Pb ke dalam tubuhnya. Sedangkan untuk mengantisipasi efek

Tabel 2. Hasil pengukuran rata-rata kualitas air selama percobaan
 Table 2. Average of water quality value during experiment

Pengamatan (Hari) Observation (Day)	Parameter Parameter	Salinitas (Salinity)			
		10 ppt	15 ppt	20 ppt	25 ppt
3	Suhu (°C) Temperature (°C)	28.33 ± 0.48	28.36 ± 0.47	28.42 ± 0.46	28.47 ± 0.42
	pH	8.39 ± 0.22	8.5 ± 0.00	8.33 ± 0.25	8.33 ± 0.25
	Oksigen terlarut (mg/L) Dissolved oxygen (mg/L)	3.39 ± 0.99	4.21 ± 0.98	4.07 ± 0.72	4.00 ± 0.85
6	Suhu (°C) Temperature (°C)	28.44 ± 0.43	28.50 ± 0.43	28.6 ± 0.43	28.63 ± 0.42
	pH	8.39 ± 0.22	8.50 ± 0.00	8.39 ± 0.22	80.22 ± 0.39
	Oksigen terlarut (mg/L) Dissolved oxygen (mg/L)	4.57 ± 0.94	4.46 ± 0.85	4.42 ± 0.76	4.21 ± 0.46
9	Suhu (°C) Temperature (°C)	28.34 ± 0.50	28.34 ± 0.47	28.34 ± 0.47	28.39 ± 0.49
	pH	8.75 ± 0.35	8.50 ± 0.00	8.39 ± 0.22	8.33 ± 0.25
	Oksigen terlarut (mg/L) Dissolved oxygen (mg/L)	4.34 ± 0.87	4.28 ± 0.85	4.74 ± 0.85	4.50 ± 0.71

negatif Pb terhadap kesehatan, maka disarankan membuang kepala dan usus dalam proses pengolahan pascapanen, mengingat jumlah Pb yang terakumulasi pada kedua organ tersebut sangat tinggi (rata-rata 94,06%).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Mirahdyah, Reni Yulianingsih, Rosni, dan Gaffar yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini baik di lapangan maupun analisis contoh di laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

Connel, D.W. 1995. *Bioakumulasi Senyawa Xenobiotik*. Penerjemah Yanti R.H. Koestoer. Universitas Indonesia Press. 231 pp.
 Connel, D.W. dan G.J. Miller. 1995. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. UI-Press. 520 pp.
 Denton, G.R.W. and C.B. Jones. 1982. The influence of temperature and salinity upon the acut toxicity of heavy metals to the banana prawn (*Penaeus merguensis*). *Chemistry in Ecology*. Macminan Publishing Co., Inc. New York. 619 pp.
 Gan, S., B.S. Sunarto, Syamsuddin, R. Setiabudi, dan Setiawati. 1981. *Farmakologi dan Terapi*. Bagian Farmakologi, Fakultas Kedokteran-Universitas Indonesia. Jakarta. 215 pp.

Huheey, J.E. 1983. *Inorganic Chemistry Principles of Structure and Reactivity*. Harper International. New York. 543 pp.
 Hutagalung, H.P. 1991. Pencemaran laut oleh logam berat. Dalam Djoko Hadi Kunarso & Ruyitno. *Status Pencemaran Laut di Indonesia dan Teknik Pemantauannya*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi-LIPI, Jakarta. p. 45--60.
 Kinne, O. 1964. The effect of temperature and salinity in marine and brackishwater animals. Part II. Salinity and temperature salinity combination. *Oceanog. Mar. Bio. Ann. Rev.* 2:281--339.
 Khopkar, S.M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. IU-Press, Jakarta. 265 pp.
 Loomis, T.A. 1978. *Toksikologi Dasar* (Ed ketiga). Penerjemah Imono Argo Donatus. Penerbit IKIP Semarang Press. 281 pp.
 Naid, T. dan Seniwati. 1998. Hubungan antara kandungan protein dan logam berat Pb, Cd, Cu, dan Zn pada beberapa jenis kerang di perairan Tanjung Bunga, Ujung Pandang. *Prosiding Seminar Kelautan LIPI-UNHAS*, Ambon 4-6 Juli 1998. p. 266--269.
 Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Penerbit Rineka Cipta. Jakarta. 152 pp.
 Putri, L.S.E. 2001. *Pola Penyebaran Spasial dan Temporal Bahan Organik, Logam Berat, dan Pestisida di Perairan Sungai Ciliwung*. Disertasi Program Pascasarjana IPB. Bogor. 162 pp.

- Rachmansyah, Dalfiah, P.R. Pong-Masak, dan Taufik Ahmad. 1998. Uji toksisitas logam berat terhadap benur udang windu (*Penaeus monodon*) dan nener bandeng (*Chanos chanos*). *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia* IV(1): 55--66.
- Sumeru, S.U. dan S. Anna. 1992. *Pakan Udang Windu (Penaeus monodon)*. Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Waldichuk, H. 1974. Some Biological Concern in Metals Pollution. *In Pollution and Physiology of Marine Organisms*. Vanberg and Vanberg (eds). Academic Press. London. 217--228 pp.