

LAJU PENYERAPAN INSEKTISIDA TRIKLORFON PADA UDANG WINDU (*Penaeus monodon*)

Petrus R. Pong-Masak¹⁾, Eddy Supriyono²⁾, Kukuh Nirmala³⁾, dan Santosa Koesoemadinata⁴⁾

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju penyerapan dan rasio biokonsentrasi insektisida triklorfon dalam tubuh udang windu pada tingkat konsentrasi pemaparan yang berbeda. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dengan Rancangan Acak Lengkap menggunakan akuarium. Bahan uji yang digunakan adalah formulasi insektisida triklorfon serta hewan uji adalah pasca larva udang windu. Perlakuan adalah tingkatan pemaparan insektisida triklorfon, yaitu 0,0037 mg/L; 0,0110 mg/L; dan 0,0183 mg/L dalam air laut bersalinitas 20 ppt. Analisis residu triklorfon dalam sampel udang windu dan air diekstraksi, kemudian diidentifikasi menggunakan kromatografi gas cairan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju penyerapan insektisida triklorfon oleh udang windu pada perlakuan 0,0110 mg/L dan 0,0183 mg/L tidak berbeda nyata tetapi keduanya berbeda dengan perlakuan 0,0037 mg/L. Laju penyerapan secara berurutan sebesar 0,0049 mg/kg/jam; 0,0088 mg/kg/jam, dan 0,0086 mg/kg/jam masing-masing pada perlakuan 0,0037 mg/L; 0,0110 mg/L, dan 0,0183 mg/L. Rasio biokonsentrasi triklorfon dalam tubuh udang windu semakin kecil dengan meningkatnya konsentrasi triklorfon, yaitu dengan nilai 2,4545; 1,6132; dan 1,3373 masing-masing pada perlakuan 0,0037 mg/L; 0,0110 mg/L, dan 0,0183 mg/L.

ABSTRACT: *Uptake of the trichlorfon insecticide on tiger prawn, *Penaeus monodon*. By: Petrus R. Pong-Masak, Eddy Supriyono, Kukuh Nirmala, and Santosa Koesoemadinata*

The experiment aimed to study the uptake and bioconcentration ratio of trichlorfon insecticide in tiger prawn at different exposure concentration. The study was conducted using the aquarium in the laboratory condition. Test material is trichlorfon insecticide and test animal is post larvae of tiger prawn. Treatments were 0.0037 mg/L, 0.0110 mg/L, and 0.0183 mg/L of trichlorfon insecticide by dissolved in water on 20 ppt. Shrimp and water sample were extracted then identified liquid gas chromatography. The results of the experiment showed that uptake of trichlorfon insecticide is not different at 0.0110 mg/L and 0.0183 mg/L and both are different with 0.0037 mg/L with the uptake rate are 0.0049, 0.0088 and 0.0086 mg/kg/h at 0.0037 mg/L, 0.0110 mg/L, and 0.0183 mg/L, respectively. Bioconcentration ratio of trichlorfon in tiger prawn were decreasing while treatment concentration was increasing, that are 2.4545, 1.6132, and 1.3373 at the treatment 0.0037 mg/L, 0.0110 mg/L, 0.0183 mg/L, respectively.

KEYWORDS: *uptake, bioconcentration ratio, trichlorfon, tiger prawn*

PENDAHULUAN

Masalah utama dalam usaha budi daya udang windu di Indonesia dewasa ini adalah

kegagalan panen yang disebabkan oleh serangan penyakit, degradasi lingkungan, dan pencemaran perairan. Cara-cara pencegahan serangan penyakit secara fisika, kimia, dan

¹⁾ Peneliti pada Balai Riset Perikanan Budidaya Air Payau, Maros

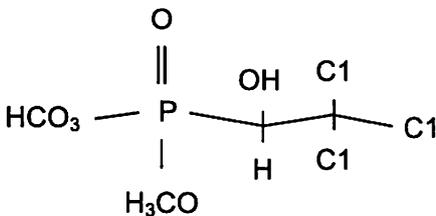
²⁾ Staf Pengajar pada Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB, Bogor

³⁾ Komisi Pestisida, Jakarta

biologi telah dilakukan, tetapi belum memberikan hasil yang maksimal. Suatu alternatif secara kimia yang dilakukan untuk membasmi inang penyakit adalah dengan menggunakan insektisida triklorfon untuk memberantas krustase liar, seperti: kepiting liar, rebon, jembret, dan udang api-api yang dianggap sebagai *carrier* penyakit bakteri dan virus terhadap udang windu di tambak. Insektisida triklorfon sangat efektif memberantas krustase liar (Koesoemadinata, 1998), tetapi pengaruh terhadap biota dan lingkungan akuatik khususnya terhadap udang windu belum dilaporkan.

Penggunaan pestisida kimia masih merupakan alternatif utama untuk mengendalikan suatu kelompok hama atau jasad pengganggu tertentu, tetapi pada hakekatnya dapat bersifat racun terhadap semua organisme (Connell & Miller, 1995). Penggunaan bahan kimia yang tidak selektif dan ditambah dengan masukan dari luar lingkungan budi daya dapat berdampak negatif terhadap biota maupun lingkungan budi daya. Beberapa hasil penelitian yang menyatakan terjadinya degradasi di wilayah pesisir Indonesia yang diakibatkan oleh pencemaran pestisida telah dilaporkan oleh Widigdo & Soewardi (1999) dan Rachmansyah *et al.* (1999). Oleh karena itu, sebelum digunakan sebagai pembasmi jasad pengganggu di ekosistem akuatik, maka potensi residual suatu pestisida harus diketahui dengan baik.

Bahan aktif triklorfon, dengan rumus molekul $C_4H_9Cl_3O_3P$ dan bobot molekul 274,45 serta struktur kimia seperti pada Gambar 1, merupakan golongan organofosfat yang pada awalnya banyak digunakan untuk mengendalikan serangga dan bangsa kecoa. Triklorfon merupakan senyawa organofosfat pertama yang digunakan untuk mengendalikan kelompok kutu air di laut (Treves-Brown, 2000). Penggunaan insektisida ini di Indonesia



Gambar 1. Struktur kimia triklorfon (Ngoh & Cullison, 1996)

Figure 1. Chemical structure of trichlorfon (Ngoh & Cullison, 1996)

direkomendasikan dengan dosis 0,5–1 mg/L dalam air di tingkat petani tambak, sedangkan toksisitas akut terhadap organisme akuatik sangat tinggi, antara lain nilai LC50 terhadap: daphnia sebesar 0,00096 mg/L, ikan *rainbow trout* sebesar 0,7 mg/L, dan *golden orfe* sebesar 0,52 mg/L (Tomlin, 1997).

Aplikasi insektisida triklorfon secara kontinyu dan tidak selektif untuk membasmi krustase liar dapat berdampak luas terhadap udang windu dan lingkungan budi daya mengingat prasyarat hidup mereka yang relatif sama. Dampak negatif triklorfon dapat terjadi baik secara akut maupun melalui proses penyerapan dalam tubuh biota akuatik (Clarke *et al.*, 1981). Residu triklorfon dalam jaringan udang windu dapat berdampak langsung terhadap sintasan, pertumbuhan, reproduksi maupun terhadap kualitas produksi dalam hubungannya dengan keamanan pangan. Laju penyerapan tersebut bergantung kepada dosis, jalur penyerapan, dan laju eliminasi sebagai respon dari kondisi lingkungan, kondisi internal hewan uji serta mekanisme toksik triklorfon (Murphy *et al.*, 1996).

Masalah residual bahan beracun, khususnya pestisida telah menjadi perhatian aktual dalam sistem perdagangan komoditas perikanan internasional. Beberapa konsep pengelolaan lingkungan dan sumber daya, seperti konsep sertifikasi ISO 14001, cepat atau lambat akan menerapkan *eco-labeling* terhadap setiap penawaran komoditas (Kuhre, 1996). Misalnya adalah berlakunya sejumlah persyaratan untuk keamanan pangan dan lingkungan dalam proses produksi suatu komoditas. Sebagai salah satu komoditas andalan ekspor sektor perikanan, udang windu perlu diteliti laju penyerapan dan potensi biokonsentrasi residu triklorfon dalam tubuhnya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju penyerapan dan rasio biokonsentrasi insektisida triklorfon dalam tubuh udang windu. Hasil penelitian diharapkan memberikan informasi tentang potensi bioakumulasi insektisida triklorfon pada udang windu untuk memprediksi dampak penggunaan insektisida ini terhadap keamanan pangan produksi udang windu serta selektivitas penggunaan insektisida triklorfon pada lingkungan budi daya.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan akuarium ber-

ukuran 90 x 50 x 60 cm (p x l x t) sebanyak 8 buah, masing-masing diisi air laut bersalinitas 20 ppt sebanyak 120 liter. Percobaan disusun dalam Rancangan Acak Lengkap (RAL). Bahan uji yang digunakan adalah insektisida triklorfon, *O,O-dimethyl (2,2,2-trichloro-1-hydroxyethyl)-phosphonate*, dengan karakteristik, antara lain: formulasi tepung sangat halus (*soluble powder*), warna putih dan mudah larut dalam air. Hewan uji adalah pasca larva 12 hari udang windu (*Penaes monodon*) yang diperoleh dari hatcheri kemudian diaklimatisasi dan dipelihara dalam kondisi laboratorium. Pada saat akan digunakan, udang uji memiliki ukuran bobot dan panjang total rata-rata masing-masing sebesar $1,0501 \pm 0,2411$ g dan $5,59 \pm 0,44$ cm.

Penelitian ini dilakukan berdasarkan petunjuk ASTM (1992), Komisi Pestisida (1983), dan Komisi Pestisida (1997) yang mencakup 2 tahap percobaan. Percobaan pendahuluan (Pong-Masak *et al.*, 2003) yang mencakup: (1) uji stabilitas untuk menentukan persentase dan interval waktu pergantian air secara semi-statik, (2) uji penentuan kisaran konsentrasi letal (*range finding test*), dan (3) uji definitif untuk menentukan nilai LC₅₀ (*median lethal concentration*) insektisida triklorfon terhadap udang windu pada waktu pemaparan 96 jam.

Percobaan utama dengan membuat 3 deretan konsentrasi triklorfon sebagai perlakuan, yaitu: 10%, 30%, dan 50% dari konsentrasi 0,0366 mg/L (nilai LC₅₀ 96 jam), masing-masing dengan konsentrasi 0 (kontrol); 0,0037 mg/L; 0,0110 mg/L; 0,0183 mg/L; dan diulang dua. Udang uji sebanyak 120 ekor dengan ukuran yang relatif homogen dimasukkan secara acak ke dalam setiap unit percobaan. Selama pemeliharaan, hewan uji diberi pakan sebanyak 5% dari bobot biomassa per hari dengan frekuensi 3 kali pemberian, yaitu setiap pagi, sore, dan malam hari. Selama percobaan berlangsung, pergantian air dilakukan 100% setiap 12 jam dengan cara menyipon. Pergantian air dilakukan tanpa ada perubahan konsentrasi perlakuan dengan cara membuat larutan stok kemudian diencerkan dan diformulasi sesuai tingkatan konsentrasi perlakuan. Pemantauan kualitas air, yaitu: suhu, pH, salinitas, oksigen terlarut, NH₃-N, dan NO₂-N diukur setelah dan sebelum pergantian air.

Sampling udang sebanyak 4 ekor dan air sebanyak 100 mL dari setiap unit percobaan, dilakukan pada jam ke: 0, 4, 12, 24, 48, 96, 144, 192, dan 264 setelah pemaparan. Sampel

dipreservasi dengan suhu rendah dalam *cool box*, dan selanjutnya diekstraksi mengikuti metode Komisi Pestisida (1997), kemudian diidentifikasi menggunakan kromatografi gas cairan (Lampiran 1 dan 2). Hasil identifikasi konsentrasi triklorfon dalam tubuh udang windu dan media air percobaan dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (Nagel & Loskill, 1991):

$$(\text{mg/kg}) \text{ residu} = \frac{C}{B} \times \frac{D}{E} \times \frac{F}{G}$$

dengan:

A = konsentrasi larutan standar (mg/mL)

B = luas puncak standar (mm)

C = lebar puncak sampel (mm)

D = volume larutan standar yang diinjeksi (mL)

E = volume larutan sampel yang diinjeksi (mL)

F = volume pengenceran (mL)

G = bobot awal sampel analitik (g)

Perhitungan laju penyerapan triklorfon ke dalam tubuh udang windu dilakukan sesuai dengan petunjuk Nagel & Loskill (1991). Nilai rasio biokonsentrasi ditentukan saat konsentrasi residu triklorfon dalam tubuh udang mencapai keadaan stabil (*steady state*) dengan mengikuti petunjuk Rand & Petrocelli (1995). Hasil perhitungan laju penyerapan dan rasio biokonsentrasi dianalisis dengan sidik ragam RAL dilanjutkan dengan uji BNT untuk menguji respon udang uji terhadap perlakuan dengan bantuan program statistik versi 3,0 sedangkan nilai kualitas air dibahas secara deskriptif.

HASIL DAN BAHASAN

Laju penyerapan ke dalam tubuh udang windu pada konsentrasi triklorfon dalam media air sebesar 0,0037 mg/L; 0,0110 mg/L; dan 0,0183 mg/L, masing-masing diperlihatkan pada Gambar 2. Laju penyerapan triklorfon pada perlakuan 30% dan 50% dari LC₅₀ 96 jam tidak berbeda nyata ($P < 0,05$) dan keduanya memiliki laju penyerapan yang lebih cepat apabila dibandingkan dengan perlakuan 10% dari LC₅₀ 96 jam (Tabel 1). Berdasarkan perbedaan laju penyerapan tersebut maka insektisida triklorfon pada dosis pemaparan yang lebih tinggi dari 0,01 mg/L akan mengalami laju penyerapan yang lebih cepat dibandingkan dengan dosis yang lebih rendah. Perbedaan laju penyerapan dapat disebabkan oleh perbedaan kemampuan biotransformasi dan ekskresi triklorfon yang terserap oleh udang windu. Pada perlakuan 30%

Tabel 1. Laju penyerapan dan rasio biokonsentrasi insektisida triklorfon pada udang windu (*Penaeus monodon*)

Table 1. Value of uptake and bioconcentration ratio of trichlorfon insecticide on tiger prawn (*Penaeus monodon*)

Perlakuan <i>Treatment</i> (mg/L)	Laju penyerapan (mg/kg/jam) <i>Uptake</i> (hour)	TUss (mg/kg)	TAav (mg/L)	Rasio biokonsentrasi <i>Bioconcentration</i> <i>ratio</i>
0.0037	0.0049 ± 0.0005 ^a	0.0081 ± 0.0001	0.0033 ± 0.004	2.4545 ^a
0.0110	0.0088 ± 0.0004 ^b	0.0171 ± 0.0003	0.0106 ± 0.005	1.6132 ^b
0.0183	0.0086 ± 0.0001 ^b	0.0222 ± 0.0001	0.0166 ± 0.0011	1.3373 ^c

Keterangan (*Remark*):

SUss = Konsentrasi residu triklorfon dalam tubuh udang windu pada keadaan tetap (*Concentration of trichlorfon residue in tiger prawn body on steady state*)

TAav = Konsentrasi rata-rata residu triklorfon dalam media air selama percobaan (*Average concentration of trichlorfon residue in water during treatment*)

dan 50% dari nilai LC₅₀ 96 jam jumlah triklorfon yang terkonsentrasi dalam tubuh udang windu lebih tinggi daripada yang bisa diekskresikan, sedangkan pada perlakuan konsentrasi 10% dari nilai LC₅₀ 96 jam, jumlah triklorfon yang terserap masih dapat mengalami ekskresi dengan baik.

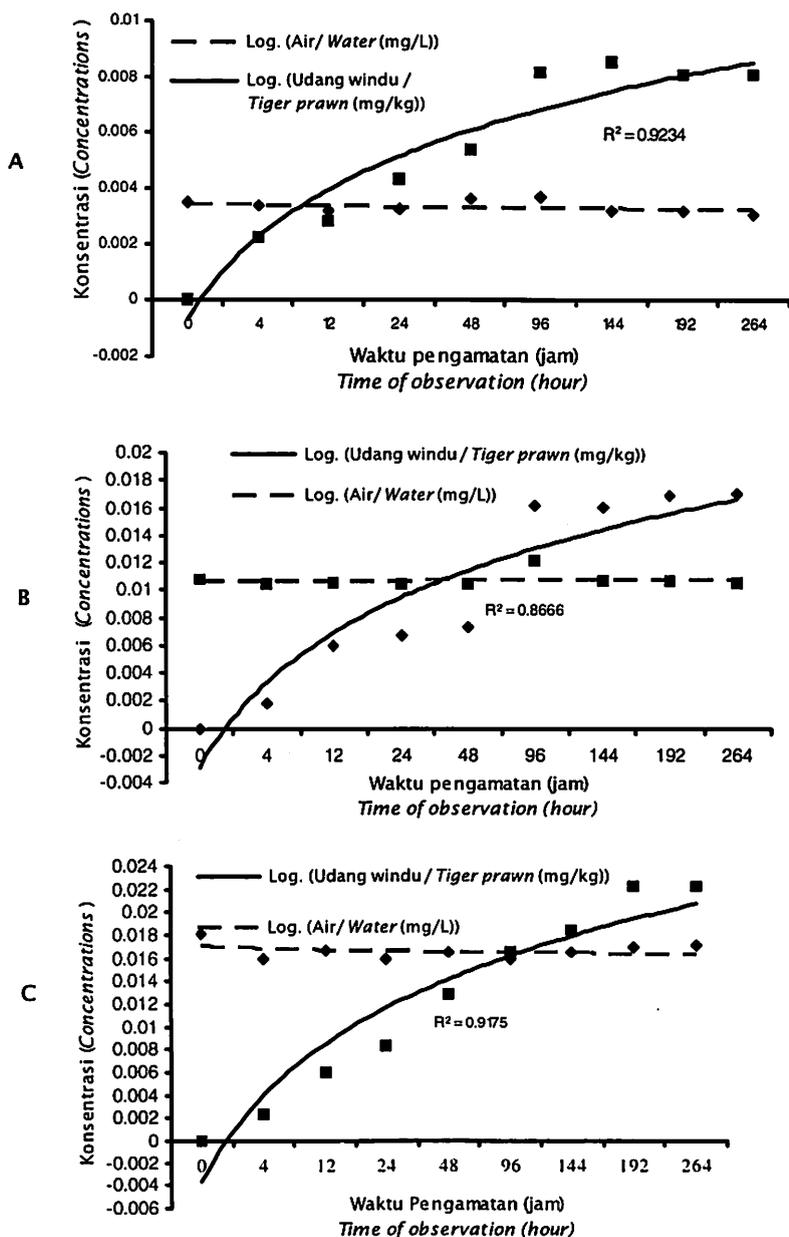
Kepekaan udang windu yang tinggi terhadap daya racun akut triklorfon ternyata tidak langsung menyebabkan terjadinya proses penyerapan pada awal kontaminasi, tetapi baru terdeteksi 4 jam setelah pemaparan. Hal tersebut memperlihatkan bahwa triklorfon tidak langsung menembus permeabilitas membran, baik secara pasif maupun secara aktif ke dalam tubuh udang windu serta proses-proses biokimia dalam sistem metabolisme. Menurut Rand & Petrocelli (1985), absorpsi suatu bahan aktif pestisida oleh organisme akuatik umumnya dimodifikasi melalui proses metabolisme, terutama melalui reaksi oksidasi, hidrolisis, dan reduksi.

Laju penyerapan insektisida triklorfon ke dalam tubuh udang windu pada ketiga tingkatan konsentrasi yang diuji semakin meningkat sampai dengan pengamatan jam ke-144 setelah pemaparan. Selanjutnya pada pengamatan ke-196 dan 264 jam setelah pemaparan, terjadi kondisi yang stabil (*steady state*) terhadap kandungan residu triklorfon yang terkonsentrasi dalam tubuh udang windu. Keadaan tersebut menunjukkan bahwa proses penyerapan, distribusi, detoksikasi, dan eliminasi insektisida triklorfon dalam tubuh udang windu

sudah berjalan pada sistem dan mekanisme keseimbangan yang optimal. Distribusi insektisida organofosfat dalam organisme akuatik secara biologi ditentukan oleh proses fisika-kimia melalui distribusi hidrofobik dan interaksi elektronik non-spesifik dengan berbagai substitusi nukleofilik (Chambers & Levi, 1992).

Penyerapan triklorfon secara difusi melalui permukaan kulit tidak dapat terjadi dalam waktu yang cepat karena terhambat oleh lapisan karapak yang keras. Daya hambat difusi triklorfon melalui karapak diduga akibat perbedaan ukuran molekul mereka. Menurut Gumbleton & Forbes (1994), ukuran molekul dan kelarutan lipida sangat berpengaruh terhadap laju perembesan obat, bahan kimia, sepanjang sel melalui proses difusi yang sederhana. Oleh karena itu, pada saat terjadi kontaminasi bahan kimia beracun secara langsung, organisme akuatik akan menyerap bahan kimia secara difusi pasif melalui membran semipermeabel pada epitel insang sebagai organ sasaran pertama (Boudou & Ribeyre, 1992).

Jalur penyerapan triklorfon lainnya oleh udang windu adalah melalui saluran pencernaan dan organ yang berhubungan dengan sistem syaraf. Hal ini dimungkinkan dengan mekanisme toksik triklorfon yang menyerang sistem saraf pusat, kontak kulit, dan lambung. Selain mengakibatkan efek letal pada pemaparan dosis tinggi, jalur dan mekanisme toksik tersebut diduga merupakan jalur penting terjadinya penyerapan triklorfon ke dalam



Keterangan (Remark):

- A = 10% dari nilai LC_{50} , di mana rata-rata konsentrasi aktual dalam air sebesar $0,0033 \pm 0,0004$ mg/L (10% of LC_{50} , average of net concentration in water at 0.0033 ± 0.0004 mg/L)
- B = 30% dari nilai LC_{50} , di mana rata-rata konsentrasi aktual dalam air sebesar $0,0106 \pm 0,0005$ mg/L (30% of LC_{50} , average of net concentration in water at 0.0106 ± 0.0005 mg/L)
- C = 50% dari nilai LC_{50} , di mana rata-rata konsentrasi aktual dalam air sebesar $0,0166 \pm 0,0011$ mg/L (50% of LC_{50} , average of net concentration in water at 0.0166 ± 0.0011 mg/L)

Gambar 2. Laju penyerapan triklorfon ke dalam tubuh udang windu pada konsentrasi pemaparan yang berbeda

Figure 2. Uptake of trichlorfon into the tiger prawn body on different exposure of concentration

tubuh udang windu. Menurut Lu (1995) dan Ishaaya (2001), insektisida organofosfat dapat menghambat enzim asetilkolinesterase (AChE) menyebabkan pengiriman impuls saraf terhenti sehingga aktivitas udang akan terganggu atau menjadi mati pada konsentrasi yang semakin tinggi. Akumulasi enzim AChE dalam sistem saraf autonom akan menyebabkan diare, urinari tanpa sadar, bronkokonstriksi, miosis dan sebagainya, sedangkan akumulasi pada taut neuromuskuler akan terjadi kontraksi otot yang mengakibatkan kelemahan, hilangnya refleks, dan paralisis.

Hasil identifikasi konsentrasi triklorfon dalam media air uji selama penelitian berlangsung menunjukkan nilai yang relatif stabil, yaitu dengan konsentrasi $0,0033 \pm 0,0004$ mg/L; $0,0106 \pm 0,0005$ mg/L; dan $0,0166 \pm 0,0011$ mg/L masing-masing pada perlakuan $0,0037$ mg/L; $0,0110$ mg/L; dan $0,0183$ mg/L. Proses dinamika triklorfon yang relatif stabil dalam media air perlakuan, menunjukkan bahwa cara pergantian air secara semistatik setiap 12 jam memenuhi pendekatan metode *continuous-flow* (Kanazawa, 1981) yang digunakan untuk mempertahankan konsentrasi bahan kimia agar stabil selama pengujian berlangsung. Konsentrasi insektisida triklorfon yang stabil selama pengujian biokonsentrasi penting sehingga laju penyerapan triklorfon dapat terjadi sampai mencapai keseimbangan (OECD, 1981 dalam Nagel & Loskill, 1990).

Berdasarkan identifikasi residu triklorfon dalam tubuh udang pada keadaan *steady state* dengan rata-rata residu dalam media air pemeliharaan, maka dapat ditentukan nilai rasio biokonsentrasi yang relatif kecil serta cenderung semakin kecil dengan meningkatnya konsentrasi pemaparan (Tabel 1).

Pada konsentrasi pemaparan yang rendah diduga bahwa triklorfon yang tersedia dalam media air diserap secara maksimal ke dalam tubuh udang windu sedangkan jumlah yang terserap pada konsentrasi pemaparan yang semakin tinggi hanya sebagian dari insektisida triklorfon yang terkonsentrasi dalam air. Berdasarkan nilai biokonsentrasi rasio tersebut maka dapat dinyatakan bahwa udang windu memiliki kemampuan yang terbatas untuk melakukan proses penyerapan, biotransformasi, distribusi, serta penimbunan triklorfon dalam organ tubuhnya. Proses tersebut sangat dipengaruhi oleh kondisi internal udang windu, kondisi lingkungan, dan sifat fisika-kimia triklorfon (Exttoxnet, 2005). Selanjutnya

menurut Rand & Petrocelli (1985), tingkat penyerapan suatu bahan toksik dalam suatu biota akuatik bergantung kepada sifat bahan toksik, yaitu: *hidrofobik*, *lipophilik*, *hidrophilik*, atau *lipophobik*.

Hasil pengukuran kualitas air menunjukkan bahwa air yang digunakan selama percobaan memiliki nilai kisaran yang layak untuk sintasan udang windu. Nilai kisaran tersebut adalah suhu = $27,9^{\circ}\text{C}$ — $28,1^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,0601^{\circ}\text{C}$); salinitas = $20,0$ ppt ($\pm 0,00$ ppt); pH = $7,53$ — $7,78$ ($\pm 0,0760$); oksigen terlarut = $2,64$ — $3,81$ mg/L ($\pm 0,1836$ mg/L); $\text{NO}_2\text{-N}$ = $0,0106$ — $0,6960$ mg/L ($\pm 0,1066$ mg/L), dan $\text{NH}_3\text{-N}$ = $0,0042$ — $0,0787$ mg/L ($\pm 0,0193$ mg/L). Berdasarkan nilai kualitas air tersebut dapat dikatakan bahwa laju penyerapan dan rasio biokonsentrasi yang diperoleh tidak dipengaruhi oleh faktor kualitas air, tetapi merupakan respon langsung dari perlakuan yang diberikan. Nilai kisaran layak kualitas air untuk budi daya udang windu menurut Poernomo (1988) dan Chanratchakool *et al.* (1998) adalah suhu dengan kisaran 26°C — 32°C ; O_2 terlarut = 3 — 10 mg/L; $\text{NO}_2\text{-N}$ = 0 — $1,0$ mg/L; $\text{NH}_3\text{-N}$ = 0 — $0,25$ mg/L; salinitas pada bulan kedua setelah pemeliharaan = 20 — 15 ppt, dan pH = $7,5$ — $8,7$.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian laju penyerapan insektisida triklorfon dalam tubuh udang windu dalam kondisi laboratorium, maka dapat disimpulkan bahwa:

- 1) Laju penyerapan insektisida triklorfon yang larut dalam air ke dalam tubuh udang windu cukup cepat pada pemaparan yang lebih besar dari konsentrasi $0,0106$ mg/L.
- 2) Rasio biokonsentrasi triklorfon dalam tubuh udang windu semakin kecil dengan meningkatnya konsentrasi insektisida triklorfon yang dipaparkan, yaitu: $2,4545$; $1,6132$; dan $1,3373$ masing-masing pada perlakuan $0,0037$ mg/L; $0,0110$ mg/L; dan $0,0183$ mg/L. Nilai tersebut cukup rendah yang mengindikasikan bahwa insektisida triklorfon tidak berpotensi untuk terakumulasi dalam tubuh udang windu.

Untuk penggunaan insektisida triklorfon yang lebih selektif dan ramah lingkungan, maka dosis aplikasi yang direkomendasikan sebesar $0,5$ — 1 mg/L di tambak perlu mempertimbangkan waktu paruh (*half-life*) mengingat toksisitas akut terhadap udang windu cukup tinggi. Dampak lanjut insektisida triklorfon

terhadap pertumbuhan, reproduksi serta pengaruh secara histologis pada udang windu dan komoditas tambak lainnya juga perlu dievaluasi.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM (American Society for Testing and Materials). 1992. Standard practice for conducting bioconcentration test with fishes and saltwater bivalve molluscs. *In Annual Book of ASTM Standards; Water and Environmental Technology*. ASTM Publication, Philadelphia, USA. E 1022-84: 652—668.
- Boudou, A. and F. Ribeyre. 1992. *Aquatic Ecotoxicology: Fundamental Concepts and Methodologies* (Vol. II). CRC Press, Inc. Florida, 314 pp.
- Chambers, J.E. and P.E. Levi. 1992. *Organophosphates; Chemistry, Fate, and Effects*. Academic Press. London, 443 pp.
- Chanratchakool, P., F.J. Turnbull, J.S. Funge-Smith, H.I. MacRae, and C. Limsuwan. 1998. *Health Management in Shrimp Ponds. Third Edition*. Aquatic Animal Health Research Institut, Departement of Fisheries, Kasetsart University Campus, Bangkok, 152 pp.
- Clarke, M.L., D.G. Harvey, and D.J. Humphreys. 1981. *Veterinary Toxicology*. The English Language Book Society and Bailliere Tindall. London, 328 pp.
- Connell, D.W. dan G.J. Miller. 1995. Kimia dan toksikologi pencemaran. Penerbit Universitas Indonesia (UI) Press, Jakarta, 520 pp.
- Extoxnet. 2005. Pesticide information profiles of trichlorfon. <http://pops.gpa.unep.org/032marin.htm>. Serial online (23-01-2003).
- Gumbleton, M. and B.J. Forbes. 1994. Principles in the absorption, distribution and elimination of pharmaceuticals. *Pesticide Science*, Vol. 42: 223—240.
- Ishaaya, I. 2001. Biochemical sites of insecticide action and resistance. Springer. New York, 343 pp.
- Kanazawa, J. 1981. Bioconcentration potential of pesticides by aquatic organisms. *Japan Pesticide Information*, 39: 12—16.
- Koesoemadinata, S. 1998. Pengaruh aplikasi insektisida Dayfon 90 SP (triklorofon) terhadap budi daya udang windu (*Penaeus monodon*) di tambak air payau. *Laporan Penelitian Kerjasama Percobaan untuk Registrasi Pestisida*. Balai Penelitian Perikanan Air Tawar. Sukamandi, Subang.
- Komisi Pestisida. 1983. *Pedoman Umum Pengujian Laboratorium Toksisitas Letal Pestisida pada Ikan untuk Keperluan Pendaftaran*. Komisi Pestisida Departemen Pertanian. Jakarta. 18 pp.
- Komisi Pestisida. 1997. *Pedoman Pengujian Residu Pestisida dalam Hasil Pertanian; Pelaksanaan Ketentuan Batas Maksimum Residu Pestisida*. Komisi Pestisida, Direktorat Perlindungan Tanaman Pangan, Departemen Pertanian, Republik Indonesia.
- Kuhre, W.L. 1996. *Sistem Manajemen Lingkungan; Sertifikasi ISO 14001*. Penuntun praktis dalam mempersiapkan sistem manajemen lingkungan yang efektif, 368 pp.
- Lu, F.C. 1995. *Toksikologi Dasar; Asas, Organ Sasaran, dan Penilaian Risiko (edisi kedua)*. Universitas Indonesia (UI) Press, Jakarta.
- Murphy, K.C., R.J. Cooper, and J.M. Clark. 1996. Volatile and dislodgeable residues following trichlorfon and isazofos application to turfgrass and implication for human exposure. *J. of Crop Science*, 36: 1,446—1,454.
- Nagel, R. and R. Loskill. 1991. Bioaccumulation in aquatic systems; contributions to the assessment. *Proceedings of an International Workshop, Berlin*. VCH Publishers Inc. New York, 238 pp.
- Ngoh, A.M. and R. Cullison. 1996. Determination of trichlorfon and dichlorvos residues in shrimp using gas chromatography with nitrogen-phosphorus detection. *Jurnal Agric. Food Chem.*, 44: 2,686—2,689.
- Poernomo, A. 1988. Faktor Lingkungan yang dominan pada budidaya udang intensif. *Seminar Usaha Budidaya Tambak, Surabaya*, 63 pp.
- Pong-Masak, P.R., E. Supriyono, K. Nirmala, dan S. Koesoemadinata, 2003. Toksisitas akut insektisida triklorofon terhadap pascalarva udang windu, *Penaeus monodon* Fab. Makalah hasil penelitian, dipresentasikan pada Seminar Nasional Cruastacea ke-2, tanggal 22-23 Agustus 2002. Bogor. 6 hal.
- Rachmansyah, Usman, R. Yulianingsih, dan I.N. Radiarta. 1999. Distribusi residu endosulfan di perairan Pantai Barat Sulawesi Selatan. *J. Pen. Per. Indonesia*, 5(2): 68—74.
- Rand, G.M. and S.R. Petrocelli. 1985. *Fundamentals of Aquatic Toxicology, Methods, and Application*. Hemisphere Publishing Corporation, Washington D.C., 666 pp.

Tomlin, C.D.S. 1997. *The Pesticide Manual, a World Compendium*. British Crop Protection Council. London, 1,606 pp.

Treves-Brown, K.M. 2000. *Applied Fish Pharmacology; Aquaculture Series 3*. Kluwer Academic Publishers. London, 309 pp.

Widigdo, B. dan K. Soewardi. 1999. Kelayakan lahan tambak di Proyek Tandu TIR-Karawang untuk budidaya udang windu; dalam hubungannya dengan kadar logam berat dan pestisida. *Dalam Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan-IPB, 2(3): 17—26.

Lampiran 1. Prosedur analisis residu triklorfon pada sampel air

Annex 1. Analysis procedure of trichlorfon residue in water sample

