

LEVEL KONTAMINASI SENYAWA ORGANOTIN DI PRODUK SEAFOOD DARI INDONESIA

Oleh : Agus Sudaryanto ^{*)}

Abstract

Contamination level of TBT and DBT in seafood products such as fish and mussels collected from several locations in Indonesia were compared with Indonesian Tolerable Average Residue Levels (TARL). TARL were calculated based on the Tolerable Daily Intake (TDI) of TBT and the seafood consumption of the average consumer in Indonesia. TARL for TBT in seafood from Indonesia is 360 ng/g per day for a person with an average body weight of 60 kg. Level concentration of TBT and TBT+DBT in fish and mussels from Indonesia still below the TARL for Indonesia. However these concentration levels have been increased to those from 1995 and indicating field ecotoxicological impact of TBT has been observed as occurring gastropod imposex in Eastern Indonesia. Therefore continuing research and significant study planning with cover more areas and variety of species of seafood products are needed.

Kata kunci : Organotin, TBT, DBT, *Tolerable Daily Intake*, *Tolerable Average Residue Level*, Ikan, Kerang, Indonesia.

1. PENDAHULUAN

Pencemaran laut oleh senyawa organotin, khususnya tributyltin (TBT) yang berasal dari cat antifouling untuk mencegah organisme fouling pada hull kapal dan jaring ikan akuakultur telah menjadi perhatian luas, khusus di banyak negara maju. Hal ini disebabkan, selain kemampuan bioakumulasinya juga oleh sifat daya racunnya yang sangat tinggi pada organisme perairan meskipun dalam konsentrasi yang sangat rendah pada level ppb ⁽¹⁻⁴⁾. Beberapa pengaruh negatif yang pernah dilaporkan adalah menyebabkan gangguan endokrin seperti imposex di gastropoda ^(5,6), anomali cangkang oyster ⁽⁶⁻⁹⁾, dan kematian larva kerang ⁽¹⁰⁾. Sebagai konsekuensi pengaruh yang merugikan, peraturan mengenai produksi dan penggunaan TBT di beberapa negara maju telah diimplementasikan, bahkan di Jepang penggunaan senyawa ini telah dilarang pada semua aplikasi pemanfaatannya ⁽³⁾.

Adanya akumulasi senyawa TBT diberbagai biota laut seperti ikan, kerang, oyster, cumi-cumi, dan organisme thropik tinggi seperti mamalia laut dan burung pemakan ikan ⁽¹¹⁻¹⁴⁾ telah menyebabkan perhatian adanya kemungkinan pengaruh negatif pada kesehatan manusia ^(11, 15). Sebuah standar konservatif intake harian yang dapat ditoleransi (TDI =

Tolerable Daily Intake) telah ditetapkan sebesar 0.25 µg TBT/kg berat badan berdasarkan studi daya racun pada fungsi imun tikus ⁽¹⁶⁾. Standard TDI ini telah banyak digunakan dan diterima secara umum ^(11, 15, 17). Berdasarkan nilai TDI 0.25 µg/kg berat badan per hari untuk TBT maka TDI TBT intake adalah 15 g per hari untuk orang dengan rata-rata berat badan 60 kg ⁽¹²⁾. Berdasarkan TDI pula, pendekatan terbaru telah dikembangkan melalui penentuan TARL (*Tolerable Average Residue Level*) yaitu level residu rata-rata TBT yang dapat ditoleransi untuk dikonsumsi ⁽¹⁵⁾.

TARL telah digunakan untuk menjawab adanya debat apakah level TBT di produk seafood telah mencapai suatu level yang beresiko terhadap kesehatan manusia ⁽¹⁵⁾. Lebih lanjut, melalui pendekatan ini beberapa produk seafood dari negara-negara maju dan daerah terkontaminasi di beberapa negara Asia telah menunjukkan nilai di atas atau mendekati TARL ⁽¹⁵⁾. Pada paper ini, data terbaru residu TBT dan DBT pada kerang dan ikan yang dikoleksi dari Indonesia dicoba dibandingkan dengan nilai TARL Indonesia yang dihitung berdasarkan nilai TDI untuk orang yang mempunyai berat rata-rata 60 kg dan rata-rata harian konsumsi seafood di Indonesia. Sebagai perbandingan data level TBT di produk seafood dari literatur juga ditampilkan.

^{*)} Penulis adalah pemerhati dan peneliti masalah lingkungan, saat ini bekerja pada Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

2. METODOLOGI

2.1 Sampel

Produk seafood yang digunakan dalam studi ini adalah kerang hijau dan berbagai

spesies ikan ekonomis yang biasa dikonsumsi. Sampel dikoleksi dari beberapa lokasi perairan Indonesia, 10 lokasi untuk kerang dan 3 lokasi untuk ikan. Tabel 1 memperlihatkan lokasi dan waktu pengambilan sampel, serta biometrik sampel ikan dan kerang.

Tabel 1. Lokasi dan waktu pengambilan sampel kerang hijau dan ikan, serta biometriknya.

| Lokasi | Waktu Sampling | n* | Panjang* (mm) | Berat* (g wet wt) |
|---|----------------|----|--------------------|-------------------|
| Sampel kerang | | | | |
| Belawan, Medan | 980712 | 48 | 90.3 (66.0-120.4) | 11.2 (3.4-18.7) |
| Kuala Tungkal, Jambi | 981015 | 51 | 68.7 (53.6-86.4) | 4.7 (2.9-7.6) |
| T. Hurun, Lampung | 980723 | 40 | 82.9 (69.8-101.8) | 7.4 (4.2-12.8) |
| Teluk Lada, Panimbang | 980801 | 56 | 57.5 (44.8-75.1) | 3.7 (2.2-7.0) |
| Kamal, Jakarta | 980729 | 54 | 78.0 (60.2-93.8) | 8.3 (4.3-12.8) |
| Cilincing, Jakarta | 980728 | 49 | 59.5 (50.8-69.7) | 5.0 (3.7-8.4) |
| Ancol, Jakarta | 980728 | 51 | 44.6 (34.7-65.3) | 3.0 (1.6-5.8) |
| Bondet, Cirebon | 980803 | 51 | 80.9 (71.0-94.4) | 9.2 (5.4-13.7) |
| Genjeran, Surabaya | 980720 | 50 | 74.0 (48.4-91.1) | 7.7 (2.8-12.9) |
| Maros, Ujung Pandang | 980716 | 24 | 104.8 (94.9-123.0) | 19.3 (12.7-30.6) |
| Sampel Ikan | | | | |
| Kamal, Jakarta Bay | | | | |
| - <i>Siganus canaliculatus</i> | 980729 | 2 | 9.6-9.8 | 17.6-18.6 |
| - <i>Secutor ruconius</i> | 980729 | 70 | 2.4-5.7 | 0.92-1.7 |
| - <i>Ambassis vachelli</i> | 980729 | 29 | 4.3-5.6 | 1.3-3.1 |
| - <i>Leiognathus elongatus</i> | 980729 | 11 | 4.9-6.2 | 0.8-3.0 |
| - <i>Scomberomorus commerson</i> | 980729 | 2 | 25.3-25.8 | 228.1-237.6 |
| - <i>Scomberoides commersonianus</i> L. | 980729 | 2 | 23.0-24.7 | 141.5-194.3 |
| Lada Bay, Panimbang | | | | |
| - <i>Anodontostoma chacunda</i> | 980801 | 2 | 12.0-12.3 | 42.5-42.8 |
| - <i>Nemipterus japonicus</i> | 980801 | 2 | 15.3-15.4 | 73.7-73.8 |
| - <i>Terapon puta</i> Cuvier | 980801 | 2 | 14.3-14.4 | 66.8-67.1 |
| - <i>Rastrelliger kanagurta</i> | 980801 | 2 | 17.6-19.3 | 89.6-119.3 |
| - <i>Priacanthus macracanthus</i> | 980801 | 2 | 23.2-23.5 | 195.7-226.7 |
| Bondet, Cirebon | | | | |
| - <i>Rastrelliger kanagurta</i> | 980803 | 2 | 11.0-11.4 | 22.7-27.2 |
| - <i>Valamugil buchanani</i> | 980803 | 2 | 13.3-14.9 | 30.5-47.4 |
| - <i>Eleutheronema tetradactylum</i> | 980803 | 2 | 16.3-16.8 | 69.1-69.8 |
| - <i>Scomberomorus commerson</i> | 980803 | 2 | 17.7-20.0 | 57.2-84.6 |
| - <i>Johnius vogleri</i> | 980803 | 2 | 15.2-14.5 | 44.2-41.0 |

* nilai dalam kurung mengindikasikan selang
n = jumlah individu sampel yang dihomogenisasi

2.2 Analisis sampel

Analisis kimia organotin (OTs) dilakukan berdasarkan metodologi Iwata *dkk.* (14) dengan sedikit modifikasi. Secara ringkas, sebanyak 2 g berat basah sampel dihomogenisasi dengan larutan 0.1 % tropolon-aceton dan HCl. Butyltin dalam ekstrak ditransfer ke dalam larutan 0.1 % tropolon-benzen, moister di dalam solvent

dihilangkan dengan menambahkan *anhydrous* Na₂SO₄. OTs didalam larutan benzen dipropilasi dengan menambahkan *propyl magnesium bromide* sebagai sebuah *Grignard reagent*. Setelah penghentian reaksi *Grignard reagent* melalui penambahan 1 N H₂SO₄, ekstrak sampel dipurifikasi melalui kolom Florisil basah. Final ekstrak diinjeksikan ke dalam gas kromatografi dengan detektor *flame photometric*

(GC-FPD) dan sebuah *tin mode filter* (610 nm). Sebuah *fused silica capillary column* (DB-1; 30 m length x 0.25 mm i.d., 0.25 µm film thickness) digunakan untuk pemisahan. Identifikasi OTs dilakukan melalui pembandingan puncak grafik kromatogram sampel ke senyawa yang sama di dalam eksternal standar. Penggunaan standar dipersiapkan setiap set analisis sampel melalui propilasi campuran larutan OTs yang diinjeksikan ke liver paus Antartik yang telah teridentifikasi tak mengandung OTs. Lebih lanjut, hexyl-TBT ditambahkan pada semua sampel sebagai internal standar. Hasil *recovery* Mono-(MBT), Di-(DBT) dan Tributyltin (TBT) terlarut dan diinjeksikan ke dalam sampel liver adalah 111±17%, 121±16%, dan 92±7.7%. Konsentrasi dari OTs dinyatakan dalam nanogram organotin ion per gram pada berat basah.

2.3 Penghitungan level residu rata-rata yang dapat ditoleransi (TARL)

TARL (*Tolerable Average Residue Level*) adalah level organotin di produk seafood yang dapat ditoleransi untuk rata-rata konsumen dengan rata-rata berat badan 60 kg. Perhitungan TARL didasarkan pada persamaan berikut :

$$\text{TARL} = \frac{(\text{TDI} \times 60 \text{ kg berat badan})}{\text{rata-rata harian konsumsi seafood}} \quad (1)$$

Nilai TDI dalam hal ini adalah untuk TBT dan DBT, ditetapkan 0.25 µg/kg berat badan per hari⁽¹⁶⁾, hal ini didasarkan pada data daya racun TBT dari hasil observasi efek TBT pada fungsi imun tikus dengan berbagai interpolasi ketidakpastian ekstrapolasi manusia-tikus, ekstrapolasi kinetik manusia-tikus, perbedaan

daya racun dan kinetik inter-individu serta faktor keselamatan⁽¹⁵⁾.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Level senyawa organotin di produk seafood dibandingkan dengan nilai TARL pada suatu negara telah diterapkan oleh Bedfroid *dkk.*⁽¹⁵⁾ sebagai upaya untuk menjawab adanya klaim bahwa level OTs di seafood belum mencapai suatu level yang menyebabkan resiko terhadap kesehatan manusia. Dari hasil penentuan nilai TARL di 21 negara (lihat Bedfroid *dkk.*⁽¹⁵⁾), sepertiga negara ini menunjukkan nilai TARL telah dilampaui oleh level TBT di beberapa sampel produk seafood. Kasus ini utamanya ditemukan pada sampel dari negara-negara maju dan Asia terutama sampel yang diambil dari daerah-daerah tercemar. Oleh karena itu level OTs di produk seafood mungkin telah mencapai suatu level yang menyebabkan resiko terhadap kesehatan manusia⁽¹⁵⁾.

Data level OTs di seafood dari Indonesia sangat terbatas. Studi ini menyajikan data terbaru level senyawa organotin di kerang dan ikan yang dibandingkan dengan nilai TARL Indonesia. Sebanyak 10 lokasi tersedia level OTs di sampel kerang dan 14 species ikan yang dikoleksi dari 3 lokasi. Tabel 2 meringkaskan konsentrasi senyawa butyltin (BTs) di kerang dan ikan yang di koleksi dari Indonesia. Seluruh sampel mengandung BTs dengan kisaran 3.7-64 ng/g sebagai total BTs (TBT+DBT+MBT) di kerang dan 3.3 - 84 ng/g di sampel ikan. Diantara senyawa BTs, TBT merupakan senyawa yang mendominasi baik di sampel kerang dan ikan dengan kisaran 2.2-38 ng/g untuk sampel kerang dan 1.4-52 ng/g untuk sampel ikan.

Tabel 2. Konsentrasi senyawa butyltin (ng/g) di kerang dan ikan dari beberapa lokasi di Indonesia.

| Lokasi | MBT | DBT | TBT | Total BTs |
|-----------------------|----------------|----------------|--------------|-------------|
| Sampel kerang | | | | |
| Belawan, Medan | 2.8 | <0.58 | 2.2 | 5.0 |
| Kuala Tungkal, Jambi | <1.5 | <0.58 | 3.7 | 3.7 |
| T. Hurun, Lampung | 2.6 | 3.0 | 4.3 | 9.9 |
| Teluk Lada, Panimbang | 1.5 | 1.9 | 3.4 | 6.8 |
| Kamal, Jakarta | 7.6 | 6.7 | 13 | 27 |
| Cilincing, Jakarta | 13 | 14 | 37 | 64 |
| Ancol, Jakarta | 11 | 8.6 | 38 | 58 |
| Bondet, Cirebon | 2.3 | 2.0 | 2.9 | 7.2 |
| Genjeran, Surabaya | 11 | 6.4 | 28 | 45 |
| Maros, Ujung Pandang | 2.5 | 1.1 | 2.5 | 6.1 |
| Sampel ikan | | | | |
| Kamal, Jakarta | 5.4 (2.9-14) | 9.5 (3.8-18) | 27 (9.7-52) | 42 (21-84) |
| Teluk Lada, Panimbang | 2.4 (0.93-4.2) | 3.3 (1.5-6.2) | 6.2 (1.4-12) | 12 (4.2-18) |
| Bondet, Cirebon | 2.4 (1.2-3.4) | 2.2 (<1.5-3.4) | 8.9 (2.1-18) | 14 (3.3-25) |

* nilai dalam kurung mengindikasikan selang

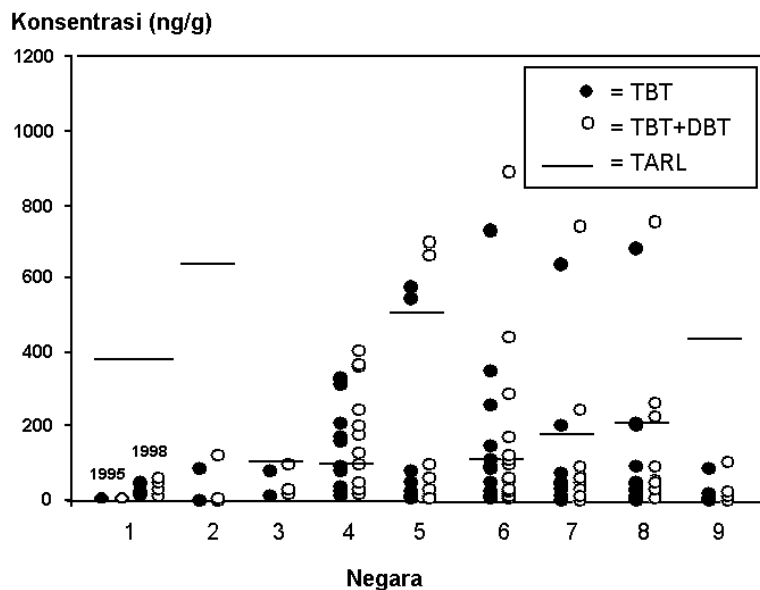
DBT terdeteksi dengan kisaran <math><0.58 - 14 \text{ ng/g}</math> untuk sampel kerang dan <math><1.5-18 \text{ ng/g}</math> untuk sampel ikan, sedangkan MBT terdeteksi dengan kisaran <math><1.5 - 13 \text{ ng/g}</math> untuk sampel kerang dan $0.93-14 \text{ ng/g}$ untuk sampel ikan. Konsentrasi senyawa BTs yang terdeteksi di sampel kerang dan ikan ini jauh lebih tinggi dari yang pernah dilaporkan di sampel ikan dari Indonesia pada tahun 1995 (0.14-19 ng/g)⁽¹²⁾.

Dari data total butyltin yang tersedia, estimasi intake harian BTs ke rata-rata orang Indonesia dengan berat tubuh 60 kg adalah 154-2662 ng BTs/orang/hari melalui konsumsi kerang dan 137-3494 ng/BTs/orang/hari melalui konsumsi ikan. Meskipun nilai ini masih jauh dari ambang batas nilai yang dapat ditoleransi sebesar 15 g/orang/hari⁽¹¹⁾ akan tetapi nilai ini telah meningkat dari estimasi intake harian pada tahun 1995 sebesar 120-700 ng/orang/hari. Estimasi intake harian BTs melalui produk seafood di Indonesia termasuk yang terendah dibandingkan dengan negara-negara maju, seperti Jepang (3000-100000 ng/orang/hari), Kanada (<math><610-15000 \text{ ng/orang/hari}</math>), USA (4000-45000 ng/orang/hari), Finlandia (970-9700 ng/orang/hari)⁽¹²⁾ dan beberapa negara Asia seperti Thailand (228-45714 melalui konsumsi kerang) (data dari Kan-ati-reklap *dkk.*⁽¹⁹⁾) dan Philipina (2361-68312 melalui kerang) (data dari Prudente *dkk.*⁽²⁰⁾).

Konsentrasi TBT dan TBT+DBT di kerang dan ikan dibandingkan dengan nilai TARL Indonesia dan beberapa negara lain sebagai perbandingan ditampilkan dalam

Gambar 1. Nilai TARL dihitung berdasarkan rata-rata konsumsi seafood di masing-masing negara dan dalam gambar di indikasikan dalam garis mendatar. Untuk data di Indonesia ditampilkan hasil pengukuran tahun 1995 dan data terbaru 1998. Nilai TARL untuk Indonesia berdasarkan rata-rata harian konsumsi produk seafood adalah sebesar 360 ng/g per hari untuk rata-rata orang yang mempunyai berat badan 60 kg⁽¹⁸⁾. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa, level TBT maupun TBT+DBT dari berbagai produk seafood di Indonesia seluruh sampel masih menunjukkan dibawah nilai TARL. Hal ini berbeda dengan beberapa sampel kerang dari China, Hong Kong, India, Malaysia, Philipina dan Thailand yang telah melampaui nilai TARL di negara-negara tersebut.

Melihat level organotin dan TARL menunjukkan bahwa sampel produk seafood di Indonesia masih termasuk dalam level organotin yang dapat ditoleransi untuk dikonsumsi. Meskipun rekomendasi secara khusus berkaitan dengan level organotin di seafood dari Indonesia belum diperlukan, akan tetapi hal menarik yang perlu diperhatikan adalah level konsentrasi organotin di sampel 1995<1998 (Gambar 1), hal ini mengindikasikan kemungkinan terjadinya peningkatan tingkat pencemaran organotin di perairan Indonesia. Belum adanya regulasi penggunaan organotin di Indonesia memungkinkan peningkatan pencemaran laut oleh senyawa ini di perairan Indonesia.



Gambar 1. Level TBT, TBT + DBT di produk seafood dan nilai TARL dari 1) Indonesia, dibandingkan dengan 2) Kamboja, 3) China Selatan, 4) Hong Kong, 5) India, 6) Malaysia, 7) Philipina, 8) Thailand, dan 9) Vietnam⁽²¹⁾.

Beberapa hal perlu dikemukakan disini bahwa, konsumsi harian perkapita dalam penentuan TARL didasarkan pada nilai rata-rata. Hal ini mengimplikasikan, bahwa sebagian populasi mengkonsumsi lebih banyak produk seafood (nelayan, orang yang mempunyai kesukaan mengkonsumsi ikan) dari pada rata-rata, sehingga akan menerima organotin lebih besar. Kemudian TARL didasarkan pada rata-rata orang dengan berat badan 60 kg. Seseorang dengan berat badan lebih ringan akan menerima relatif lebih banyak senyawa organotin per kg berat badan. Oleh karena itu berdasarkan hal ini, anak-anak mungkin akan lebih beresiko. Kemudian, perhitungan TARL didasarkan pada produk seafood lokal untuk konsumsi lokal.

Meskipun secara umum diasumsikan bahwa level organotin di produk seafood harus dibandingkan dengan TDI, pendekatan TARL hanya akan valid bila tersedia jumlah data set yang besar dari hasil monitoring yang intensif. Oleh karena itu hasil ini tidak menyimpulkan secara keseluruhan produk seafood dari Indonesia yang aman dari segi level OTs. Adanya indikasi peningkatan level OTs di produk perikanan Indonesia dan kejadian imposex yang telah dilaporkan⁽²²⁾ sebagai akibat pengaruh ekotoksikologi senyawa TBT mengindikasikan perlunya survei monitor secara berkelanjutan dan rancangan survei yang signifikan untuk mengetahui status pencemaran yang komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

1. Alzieu C. Biological effects of tributyltin on marine organisms *dalam* : *TBT Case Study of an Environmental Contaminant*, de Mora S. J. (editor), Cambridge, UK, Cambridge Univ. Press. 1996, 167-211.
2. Gibbs P.E. and G.W. Bryan. Reproductive failure in the gastropod *nucella lapillus* associated with imposex caused by tributyltin pollution : a review *dalam* : *Organotin Environmental Fate and Effects*, M.A. Champ and P.F. Seligman (editor), Chapman & Hall, 2-6 Boundary Row, London. 1996, 259-280.
3. Fent K. Ecotoxicology of organotin compounds. *Critical Review and Toxicology*. 1996, 26, 1-117.
4. Laughlin R.B., Thain J., Davidson B., Valkirs A.O. and Newton F. C. Experimental studies of chronic toxicity of tributyltin compounds *dalam*: *Organotin Environmental Fate and Effects*, M.A. Champ and P.F. Seligman (editor), Chapman & Hall, 2-6 Boundary Row, London. 1996, 191-217.
5. Matthiessen P. and Gibbs P.E. Critical appraisal of the evidence for tributyltin-mediated endocrine disruption in mollusks. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 1998, 17, 37-43.
6. Alzieu C. and Heral M. Ecotoxicological effects of organotin compounds on oyster culture *dalam* : *Ecotoxicological Testing for the Marine Environment*, G. Persoone, E. Jaspers and C. Claus (editor), vol. 2, State University, Belgium. 1984, 187-195.
7. Alzieu C. and Portman J. E. The effect of tributyltin on the culture of *C. gigas* and other species *dalam*: *Fifteenth Annual Shellfish Conferences Proceedings*, The Shellfish Association of Great Britain, London. 1994, 87-104.
8. Waldock M.J., Thain J.E. and Waite M.E. An Assessment of the value of shell thickening in *Crassostrea gigas* as an indicator of exposure to tributyltin *dalam* : *Organotin Environmental Fate and Effects*, M.A. Champ and P.F. Seligman (editor), Chapman & Hall, 2-6 Boundary Row, London. 1996, 219-237.
9. Bryan G. W. and Gibbs P. E. Impact of low concentration of tributyltin (TBT) on marine organism : a review *dalam* : *Metal Ecotoxicology Concept and Applicants*, M. C. Newman and A. W. Mc Intosh (editor), Lewis Publishers. 1991, 323-361.
10. Beaumont A. R. and Budd M. D. High mortality of the larvae of the common mussel at low concentrations of tributyltin. *Marine Pollution Bulletin*. 1984, 15, 402 - 405.
11. Kannan, K. and J. Falandysz. Butyltin residues in sediment, fish-eating birds, harbour porpoise and human tissues from the Polish Coast of the Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin*. 1997, 34, 203-204.
12. Kannan, K., S. Tanabe, H. Iwata, and R. Tatsukawa. Butyltins in muscle and liver of fish collected from certain Asian and Oceanian countries. *Environmental Pollution*. 1995, 90, 279-290.
13. Guruge, K. S., H. Iwata, H. Tanaka and S. Tanabe. Butyltin accumulation in the liver and kidney of seabirds. *Marine Environmental Research*. 1997, 44, 191-199.
14. Iwata H., Tanabe S., Mizuno T. and Tatsukawa R. Detection of butyltins compound residues in the blubber of marine mammals. *Marine Pollution Bulletin*. 1994, 28, 607-612.
15. Belfroid, A. C., M. Purperhart and F. Ariese. Organotin levels in seafood. *Marine Pollution Bulletin*. 2000, 40, 226-232.

16. Penninks, A. H. The evaluation of data-derived safety factors for bis(tri-*n*-butyltin)oxide. *Food Additives and Contaminants*. 1993, 10, 351-361.
17. Robinson, S., Volosin, J., Keithly, J. and Cardwell, R. Comment on: Butyltin residues in sediment, fish-eating birds, harbour porpoise and human tissues from the Polish Coast of the Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin*. 1999, 38, 57-61.
18. WHO. Tributyltin compounds. Environmental Health Criteria. Geneva. 1990, vol. 116.
19. Kan-atiireklap, S., S. Tanabe, J. Sanguansin, M. Tabucanon and M. Hungspreugs. Contamination by butyltin compounds and organochlorines residues in green mussel (*Perna viridis*, L.) from Thailand coastal waters. *Environmental Pollution*. 1997, 97, 79-89.
20. Prudente, M. S., H. Ichihashi, S. Kan-atiireklap, I. Watanabe, and S. Tanabe. Butyltins, organochlorines and metal levels in green mussel, *Perna viridis* L. from the coastal waters of the Philippines. *Fisheries Science*. 1999, 65, 441-447.
21. Sudaryanto, A. Contamination by butyltin compounds in mussels, fishes and sediments from coastal waters of Asian developing countries. Master Thesis, Ehime University, Japan. 2001.
22. Ellis, D. V. and Pattisina, L. A. Widespread neogastropod imposex: a biological indicator of global TBT contamination? *Marine Pollution Bulletin*. 1990, 21, 248-253.

RIWAYAT PENULIS

Agus Sudaryanto, lahir di Sragen, 21 Januari 1969, mendapatkan gelar ilmu dan teknologi kelautan dari Fakultas Perikanan IPB, Bogor pada tahun 1993; menyelesaikan *Master of Science* bidang kimia Lingkungan dan ekotoksikologi di *Center for Marine Environmental Studies, Ehime University, Jepang* pada tahun 2001. Sejak tahun 1994 bergabung dengan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.