

**KEBERADAAN DAN DISTRIBUSI PESTISIDA
ORGANOKLORIN GOLONGAN SIKLODIENA DI PERAIRAN
SEGARA ANAKAN CILACAP JAWA TENGAH**

Saptono Hadi¹, Narsito², & Sri Noegrohati³

¹Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sebelas Maret

²Jurusan Kimia FMIPA Universitas Gadjah Mada

³Fakultas Farmasi Universitas Gadjah Mada

INTISARI

Telah dilakukan penelitian tentang keberadaan pestisida organoklorin (OCs) golongan siklodiena di perairan Segara Anakan, Cilacap, Jawa Tengah. Segara Anakan merupakan ekosistem laguna yang karena kondisi geografisnya membuat perairan tersebut berpotensi menjadi tempat penimbunan residu pestisida dari daerah pertanian di sekelilingnya. Pestisida siklodiena, seperti halnya pestisida OCs golongan lain, bersifat persisten dengan waktu paruh yang panjang sehingga memiliki kecenderungan untuk terakumulasi di lingkungan. Sampling dilakukan dua kali pada musim kemarau dan penghujan pada delapan lokasi di perairan Segara Anakan, berupa sampel air dan sedimen. Pada sampel air, ekstraksi dilakukan dengan metode ekstraksi fase padat dalam kolom Seppak®. Sementara pada sampel sedimen, ekstraksi dilakukan menggunakan metode ekstraksi soxhlet dengan pelarut heksana-aseton (1:1). Pada kedua ekstrak sampel, *cleanup* dilakukan dengan kolom kromatografi dengan fase diam Florisil®, dan selanjutnya kadar OCs dalam sampel dideterminasi menggunakan kromatografi gas yang dilengkapi detektor tangkapan elektron (GC-ECD). Hasil penelitian menunjukkan bahwa residu pestisida siklodiena dan produk degradasinya ditemukan di perairan Segara Anakan. Data air memperlihatkan pestisida siklodiena ditemukan merata di titik sampling, pada rerata kadar (ng/ml) 0,0082 dan 0,0071 (heptaklor); 0,0035 dan 0,0024 (heptaklor epoksida, metabolit heptaklor); 0,0098 dan 0,0098 (endrin); serta 0,0049 dan 0,0119 (α -endosulfan), berturut-turut untuk musim kemarau dan penghujan. Sementara dalam sedimen, pestisida siklodiena ditemukan pada rerata kadar (ng/g) 1,77 dan 1,28 (heptaklor); 0,77 dan 0,32 (heptaklor epoksida), 0,70 dan 0,52 (endrin); serta 1,83 dan 0,81 (α -endosulfan) berturut-turut untuk musim kemarau dan penghujan. Sifat kelarutan dalam air yang rendah dan K_{oc} yang relatif tinggi merupakan penjelasan kecenderungan pestisida siklodiena untuk terdeposisi dan terakumulasi dalam sedimen. Dengan demikian, sedimen memegang peran penting pada proses disipasi pestisida OCs dari perairan. Pada aspek transformasi, heptaklor epoksida sebagai produk degradasi

heptaklor ditemukan dengan kadar lebih tinggi, yang merupakan indikasi terjadinya masukan baru heptaklor kedalam perairan Segara Anakan.

Kata Kunci : Pestisida organoklorin, Turunan siklodiena, Segara Anakan, Kromatografi Gas

PENDAHULUAN

Pestisida organoklorin (*organochlorines*, OCs) tercatat memainkan peran penting dalam usaha pemberantasan hama pertanian dan pengendalian vektor penyakit epidemik seperti malaria. Secara umum, pestisida OCs memiliki karakteristik aksi insektisidal tinggi, spektrum kerja luas tetapi selektif, dan durasi kerja panjang. Sejumlah sifat ideal tersebut menjadikan pestisida OCs kemudian digunakan secara ekstensif dalam kegiatan pertanian maupun non pertanian.

Penggunaan pestisida OCs yang meluas tersebut, secara paralel juga memunculkan dampak ekologis terkait dengan sifat kimiawinya. Pestisida OCs memiliki persistensi yang tinggi di lingkungan, karena resistensinya terhadap degradasi kimia dan mikrobial, dan bersifat lipofilik. Perpaduan sifat persisten dan lipofilisitas menyediakan kondisi yang diperlukan untuk bioakumulasi OCs dalam jaringan lemak biota. Beberapa pestisida OCs juga bersifat semi-volatil yang memungkinkannya berada pada bentuk fase uap atau teradsorpsi partikulat di udara sehingga mengalami transport atmosferik. Dengan demikian, pestisida OCs persisten akan berpotensi terdistribusi meluas dan jauh dari titik aplikasi melalui udara, air, dan akhirnya dapat terakumulasi dalam lingkungan terestrial dan perairan. Dari lingkungan, paparan residu OCs terhadap manusia terjadi, terutama melalui konsumsi produk yang tercemar.

Pestisida OCs turunan siklodiena merupakan senyawa siklis yang memiliki karakteristik adanya "jembatan endometilen". Dengan satu perkecualian, yaitu endrin, pestisida siklodiena merupakan produk reaksi Diels-Alder. Dalam sintesis siklodiena, senyawa heksaklorosiklopentadiena berperan sebagai komponen diena, sedang komponen dienofil berasal dari senyawa asiklik, monosiklik, dan bisiklik yang sesuai (Stetter, 1983). Heptaklor, isodrin, aldrin, klordan, dan endosulfan merupakan produk reaksi Diels-Alder. Sementara heptaklor-

epoksida, endrin, dan dieldrin, berturut-turut adalah produk epoksidasi dari heptaklor, isodrin, dan aldrin.

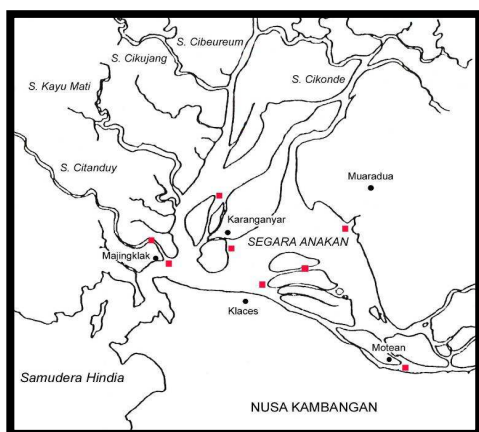
Kawasan Segara Anakan merupakan Segara Anakan merupakan bentang alam unik berupa perairan laguna yang dikelilingi rawa bakau, terletak di pantai selatan Cilacap, barat daya Jawa Tengah. Laguna, menurut definisi Pritchard (1967), adalah suatu badan air yang berupa teluk semi-tertutup, yang mempunyai hubungan bebas dengan laut terbuka, dan didalamnya air laut bercampur dengan air tawar yang berasal dari daratan. Salah satu karakteristik utama perairan laguna adalah adanya pengaruh pasang surut dari air laut (Pritchard, 1967 *cit* Day, et.al, 1989).

Perairan Segara Anakan, karena kondisi geografisnya, berpotensi menjadi tempat penimbunan residu pestisida. Pasokan air tawar ke Segara Anakan berasal dari tiga sungai utama, yaitu Citanduy, Cibeureum, dan Cikonde, yang sekaligus menjadi sumber masuknya residu pestisida, yang terutama berasal dari kegiatan pertanian di sekitar perairan Segara Anakan. Kondisi salinitas perairan Segara Anakan yang meningkat karena terjadinya pencampuran air laut dan air tawar menciptakan efek “*salting-out*” yang menyebabkan padatan tersuspensi cenderung untuk mengendap, yang bersamanya mengendapkan pula residu pestisida yang kelarutannya dalam air relatif rendah sehingga terjadi akumulasi pestisida dalam perairan Segara Anakan. Dengan demikian, penelitian tentang residu pestisida di kawasan ini penting dilakukan, termasuk di dalamnya studi terhadap sumber, tingkat kadar, dan distribusi residu pestisida, dimana aspek tersebut terkait erat dengan berbagai faktor lingkungan perairan Segara Anakan.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Pengambilan Sampel. Sampel air dan sedimen diambil dari perairan Segara Anakan, yang berkedudukan di 108,47°BT-108,54°BT dan 7,39°LS-7,43°LS. Sampling dilakukan di Citanduy (CT), Majingklak (MJ), Palindukan (PL), Karanganyar (KA), Klaces (KL), Gombol (GB), Muaradua (MD), dan Motean (MT), pada bulan Juli 2003 (kemarau) dan Januari 2004 (penghujan).

Sampel air diambil secara komposit dengan variasi kedalaman, yaitu : permukaan, tengah, dan dasar badan air. Sampel air tersebut digabung dan disimpan dalam kontainer plastik polietilen kedap cahaya. Sampel sedimen diambil menggunakan *soil corer*, yang berupa pipa logam berdiameter 3,5 cm dan panjang 40 cm. Setelah kolom sedimen diperoleh, ujung pipa ditutup dengan tutup polietilen. Dari sampel sedimen tersebut, diambil 10 cm lapis teratas, dikeringanginkan, digerus, dan diayak. Terhadap sampel air dan sedimen yang diperoleh, preparasi dilakukan sesegera mungkin untuk meminimalkan kehilangan kadar residu lebih lanjut.



Gambar 1. Peta perairan Segara Anakan dan ■ titik sampling* *Keterangan (dari kiri) : Citanduy, Majingklak, Palindukan, Karanganyar, Klaces, Gombol, Muaradua, dan Motean

Analisis Kadar Pestisida. Pada sampel sedimen, $\pm 30,0$ g sampel diekstraksi dengan soxhlet berisi 120 ml heksana–aseton (1:1 v/v), suhu 70°C , selama 6 jam atau 12 sirkulasi. *Cleanup* dilakukan menggunakan kolom kromatografi (100×10 mm) berisi Florisil[®] yang telah diaktifkan (pemanasan suhu 650°C , 5 jam), kemudian dideaktivasi dengan aquabides 10% ($^{b}/_b$). Kolom kemudian dielusi dengan 20 ml fase gerak, berturut-turut dengan : heksana, 6% dietil eter–heksana, 15% dietil eter–heksana, dan 50% dietil eter–heksana, pada laju fase gerak 2 ml/menit. Eluat ditampung dalam botol kaca kedap cahaya, diuapkan, dan kedalam

sampel ditambahkan 16 ng aldrin sebagai standar internal, dan sampel dilarutkan kembali dalam heksana hingga diperoleh volume akhir 100 µl.

Pada sampel air, sampel disaring dengan kertas saring untuk menghilangkan partikulat tersuspensi, kemudian dilewatkan Seppak[®] C₁₈ yang telah diaktivasi dengan 5 ml metanol-air (1:1) dan dicuci dengan 5 ml aquabides. Elusi dilakukan dengan memanfaatkan gaya gravitasi pada laju alir sekitar 2 ml/menit hingga mencapai volume 5,0 liter. Selanjutnya Seppak[®] C₁₈ dielusi 10 ml fase gerak, berturut-turut dengan : metanol, metanol-aseton (1:1), dan aseton. Eluat ditampung terpisah dalam botol kaca kedap cahaya dan diuapkan. Kedalam sampel ditambahkan 16 ng aldrin sebagai standar internal, dan sampel kemudian dilarutkan kembali dalam heksana hingga diperoleh volume akhir 100 µl.

Pada kedua eluat kemudian dilakukan penetapan kadar OCs pada sistem GC-ECD yang telah dioptimasi. Kondisi optimum GC yang digunakan adalah : gas pembawa (nitrogen), laju 24 ml/menit, tekanan 125 kPa; suhu detektor, 230°C; suhu injektor, 230°C; suhu kolom 170°C, dinaikkan (laju 1°C/menit) sampai suhu 195°C, dipertahankan 20 menit. Kolom (2 m × 3 mm) berisi fase diam campuran OV-17 + OV-210 (1,5% : 1,95%) pada Chromosorb W. Kadar pestisida DDT dalam sampel dikuantifikasi berdasarkan rasio area sampel terhadap area standar internal (aldrin) dan kadar DDT dapat dihitung dengan persamaan :

$$C_{\text{smp}} = \frac{C_{\text{reg}} \times V \times P}{m}$$

C_{smp} = kadar sampel (µg/g berat kering)
 C_{reg} = kadar regresi sampel (µg/ml)
 V = volume sampel (ml)
 P = faktor pengenceran
 m = berat sampel (g berat kering)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nasib dan perilaku pestisida OCs di lingkungan sangat dipengaruhi oleh sifat fisikokimia dan oleh faktor lingkungan, yang keduanya terkait erat. Perairan Segara Anakan memiliki dua karakteristik utama, yaitu

berada pada lingkungan tropis dan memiliki dua musim berseling, yaitu musim penghujan dan kemarau.

Lingkungan tropis Segara Anakan bercirikan suhu dan kelembaban yang tinggi serta paparan sinar matahari yang intens dan konstan sepanjang tahun. Rekaman data klimatologis Segara Anakan selama satu dekade mencatat kelembaban rerata mencapai 81-86%, tekanan udara 1,009-1,010 milibar, dan suhu rerata bulanan 26,7°C. Laju penguapan perairan tercatat sangat tinggi, mencapai maksimum 149 mm pada bulan Oktober, yang terkait dengan laju angin pada bulan tersebut (White, et.al, 1989). Perubahan musim di Segara Anakan, yaitu musim kemarau berlangsung dari bulan Oktober sampai April dan musim kemarau dari bulan Mei sampai September, terutama ditandai perbedaan curah hujan pada kedua musim. Data curah hujan yang tercatat stasiun meteorologi Cilacap memperlihatkan bahwa hujan dimulai pada bulan Oktober, hingga mencapai puncak pada bulan Desember (± 600 mm), dan setelah bulan itu curah hujan cenderung untuk menurun. Perubahan curah hujan tersebut ditemukan berdampak signifikan terhadap kondisi perairan. Kenaikan curah hujan secara drastis meningkatkan volume pasokan air tawar ke Segara Anakan. Perubahan pasokan air tawar ke Segara Anakan secara paralel menyebabkan fluktuasi salinitas perairan. Meningkatnya pasokan air tawar pada musim penghujan menurunkan secara tajam salinitas perairan, dimana salinitas musim kemarau mencapai 25 ppt dan menurun hingga 2 ppt pada musim penghujan. Meningkatnya pasokan air tawar juga meningkatkan input padatan tersuspensi yang terbawa bersama aliran sungai. Data padatan terlarut total (TSS, *Total Suspended Solids*) dan turbiditas perairan di bagian selatan Segara Anakan pada musim kemarau dan penghujan memperlihatkan perbedaan signifikan, yaitu 0,17 dan 0,30 mg/l untuk TSS serta 0,8 dan 14,1 NTU untuk turbiditas.

Pestisida OCs golongan siklodiena yang ditemukan di perairan Segara Anakan meliputi : heptaklor, heptaklor epoksida (produk degradasi heptaklor), endrin, dan α -endosulfan. Data air memperlihatkan pestisida siklodiena ditemukan merata di titik sampling, yaitu pada kisaran kadar (ng/ml) 0,0031-0,0245 dan 0,0013-0,0135 (heptaklor);

0,0005-0,0053 dan 0,0018-0,0032 (heptaklor epoksida); 0,0027-0,0195 dan 0,0026-0,0205 (endrin); serta 0,0031-0,0066 dan 0,0049-0,0215 (α -endosulfan), berturut-turut untuk musim kemarau dan penghujan. Data rerata dan kisaran kadar pestisida siklodiena dalam air ditampilkan dalam Tabel I:

Tabel I. Rerata dan kisaran kadar pestisida siklodiena (ng/ml) dalam air

Pestisida	Kemarau			Penghujan		
	N	Kadar (ng/ml)	n	N	Kadar (ng/ml)	n
Heptaklor	8	0,0082 (0,0031–0,0245)	7	8	0,0071 (0,0013–0,0135)	6
Heptaklor epoksida	8	0,0035 (0,0005–0,0053)	4	8	0,0024 (0,0018–0,0032)	4
Endrin	8	0,0098 (0,0027-0,0195)	7	8	0,0098 (0,0026-0,0205)	7
α -Endosulfan	8	0,0049 (0,0031–0,0066)	2	8	0,0119 (0,0049–0,0215)	3

Keterangan :

N : jumlah total sampling dengan variasi tempat dan waktu

n : jumlah sampel yang terdeteksi mengandung pestisida OCs

Data air memperlihatkan bahwa di Segara Anakan pestisida siklodiena ditemukan dengan kisaran kadar yang relatif lebar pada titik sampling yang berbeda, yang kemungkinan disebabkan variabilitas input pestisida tersebut ke perairan Segara Anakan. Meskipun demikian, rerata kadar heptaklor, heptaklor epoksida, dan endrin musim penghujan dan kemarau tidak memperlihatkan perbedaan signifikan.

Sementara pestisida α -endosulfan memperlihatkan tren berbeda, dimana kadar musim penghujan ditemukan lebih tinggi dibandingkan kemarau, yang merupakan konfirmasi atas asumsi meningkatnya input OCs pada musim penghujan melalui input akuatik aliran sungai. Meskipun demikian, keberadaan α -endosulfan di perairan Segara Anakan secara umum relatif jarang. Relatif sedikitnya α -endosulfan yang ditemukan kemungkinan diduga lebih disebabkan oleh waktu paruhnya

yang pendek, daripada ketiadaan input ke perairan Segara Anakan mengingat α -endosulfan merupakan pestisida OCs yang masih diijinkan penggunaannya di Indonesia karena sifatnya yang relatif tidak persisten.

Data sedimen menunjukkan pengaruh perbedaan musim terhadap perilaku pestisida siklodienadi lingkungan perairan. Berlawanan dengan data air, data sedimen memperlihatkan kadar pestisida siklodiena ditemukan lebih rendah pada musim penghujan dibandingkan kemarau. Dalam sedimen, pestisida siklodiena ditemukan pada kisaran kadar (ng/g) 0,79-2,95 dan 0,75-2,51 (heptaklor); 0,26-1,11 dan 0,14-0,77 (heptaklor epoksida), 0,14-1,16 dan 0,32-1,06 (endrin); 0,92-2,98 dan 0,35-1,45 (α -endosulfan) berturut-turut untuk musim kemarau dan penghujan. Data rerata dan kisaran kadar pestisida siklodiena dalam sedimen ditampilkan dalam Tabel II berikut :

Tabel II. Rerata dan kisaran kadar pestisida siklodiena (ng/g) dalam sedimen

Pestisida	Kemarau			Penghujan		
	N	Kadar (ng/ml)	n	N	Kadar (ng/ml)	n
Heptaklor	8	1,77 (0,79-2,95)	7	8	1,28 (0,75-2,51)	6
Heptaklor epoksida	8	0,77 (0,26-1,11)	6	8	0,32 (0,14-0,77)	8
Endrin	8	0,70 (0,14-1,16)	8	8	0,52 (0,32-1,06)	7
α -Endosulfan	8	1,83 (0,92-2,98)	5	8	0,81 (0,35-1,45)	5

Keterangan :

N : jumlah total sampling dengan variasi tempat dan waktu

n : jumlah sampel yang terdeteksi mengandung pestisida OCs

Data sedimen pestisida siklodiena yang cenderung rendah pada musim penghujan dapat dikaitkan dengan peningkatan curah hujan, yang secara drastis menyebabkan peningkatan laju arus perairan, sehingga desorpsi pestisida dari sedimen meningkat akibat terjadinya pencucian sedimen oleh arus yang meningkat. Peningkatan arus juga menyebabkan penurunan sedimentasi padatan tersuspensi sehingga menurunkan akumulasi OCs dalam sedimen.

Pada α -endosulfan, data sedimen memperlihatkan kondisi berbeda dari data air. Residu ditemukan hampir pada semua titik sampling. Hal tersebut menegaskan bahwa tidak ditemukannya α -endosulfan pada sampel air kemungkinan lebih disebabkan waktu paruhnya yang pendek dalam air. Waktu paruh α -endosulfan dalam air berkisar 4 hari pada air sungai, sampai 7 hari pada air biasa (pH 7), sementara kondisi anaerobik dalam sedimen diketahui memperpanjang waktu paruhnya (Eichelberger dan Lichtenberg, 1971 *cit* WHO^b, 1984).

Data air dan sedimen memperlihatkan pestisida siklodiena cenderung untuk terdeposisi dalam sedimen. Kadar heptaklor dan produk degradasinya, ditemukan jauh lebih tinggi dalam sampel sedimen dibandingkan dalam air, dengan rasio kadar hingga 272 kali pada heptaklor. Kelarutan yang rendah dan K_{oc} heptaklor yang relatif tinggi merupakan penjelasan kecenderungan heptaklor untuk terakumulasi pada sedimen dan padatan tersuspensi. Endrin juga ditemukan jauh lebih tinggi dalam sampel sedimen, dengan rasio kadar hingga 265 kali. Sementara rasio kadar α -endosulfan hanya mencapai 142 kali, lebih rendah dibandingkan OCs lain, terkait kelarutannya dalam air yang relatif besar (530 $\mu\text{g/l}$). Data rasio kadar sedimen/air pestisida siklodiena ditampilkan dalam Tabel III berikut :

Tabel XVI. Rasio kadar sedimen/air pestisida siklodiena

Pestisida	Rasio kadar sedimen/air		S_w ¹	Log K_{oc} ²
	Kemarau	Penghujan		
Heptaklor	272	262	50	5,01
Heptaklor epoksida	190	168	350	4,77
Endrin	256	198	260	4,43
α -Endosulfan	142	138	530	4,44

¹ S_w = kelarutan dalam air (mg/l) ² K_{oc} = Koefisien partisi organik karbon

Tabel III memperlihatkan bahwa rasio kadar sedimen/air berkorelasi terbalik dengan parameter S_w (kelarutan), dimana semakin kecil kelarutan maka semakin besar kecenderungan senyawa tersebut berada dalam sedimen atau padatan tersuspensi. Rasio kadar sedimen/air juga berkorelasi linier dengan parameter K_{oc} , dengan

demikian semakin besar K_{oc} maka semakin besar kecenderungan senyawa tersebut berada di sedimen atau padatan tersuspensi, sebagaimana diperlihatkan data.

Tabel III juga memperlihatkan pengaruh musim, dimana pada musim kemarau rasio kadar meningkat akibat efek "salting-out" yang meningkat, sehingga pestisida akan semakin cenderung teradsorpsi dalam sedimen, yang ditandai rasio kadar sedimen/air yang semakin besar. Efek perubahan salinitas juga lebih signifikan terjadi pada heptaklor, heptaklor epoksida, dan endrin dibandingkan α -endosulfan, terkait kelarutan α -endosulfan yang jauh lebih besar dalam air.

Pada aspek transformasi pestisida di Segara Anakan, ditemukan data rasio heptaklor epoksida terhadap heptaklor dalam sedimen, yang dapat digunakan untuk memperkirakan asal-usul heptaklor, seperti ditampilkan dalam Tabel IV berikut :

Tabel IV. Rasio heptaklor epoksida terhadap heptaklor dalam sedimen

Rasio	Kemarau	Penghujan
Heptaklor epoksida/Heptaklor	0,48	0,21

Secara teoretik, heptaklor akan segera mengalami epoksidasi mikrobial di lingkungan membentuk heptaklor epoksida, yang merupakan jalur transformasi utama pestisida tersebut. Iklim tropis, dengan kelembaban dan suhu yang tinggi, membuat aktivitas mikrobial lebih aktif, sehingga diperkirakan residu heptaklor di lingkungan akan lebih banyak berada dalam bentuk epoksidanya. Pada penelitian ini, rasio heptaklor epoksida terhadap heptaklor ditemukan kurang dari 1, yang menunjukkan kadar heptaklor lebih tinggi dibandingkan heptaklor epoksida, yang merupakan indikasi terjadinya masukan baru heptaklor kedalam sedimen Segara Anakan.

KESIMPULAN

Residu pestisida OCs golongan siklodiena yang ditemukan di perairan Segara Anakan, yaitu meliputi : heptaklor, heptaklor epoksida

(produk degradasi heptaklor), endrin, dan α -endosulfan ditemukan pada perairan Segara Anakan. Kadar pestisida dalam sedimen ditemukan jauh lebih tinggi dibandingkan kadar dalam air yang memperlihatkan pestisida siklodiena cenderung untuk terdeposisi dalam sedimen, dimana rasio kadar sedimen/air berkorelasi dengan parameter kelarutan dan K_{oc} . Perbedaan musim berpengaruh terhadap perilaku pestisida ke perairan Segara Anakan, dimana musim penghujan meningkatkan pencucian residu pestisida dari sedimen oleh arus yang meningkat. Salinitas juga berpengaruh terhadap distribusi pestisida di perairan, dimana penurunan salinitas menyebabkan rasio kadar sedimen/air menurun, dan demikian sebaliknya.

DAFTAR PUSTAKA

- Chau, A.S.Y. dan Lee, H.B., 1982, Basic Principles and Practices in the Analysis of Pesticides, dalam Chau, A.S.Y. dan Afghan, B.K. (Ed.), *Analysis of Pesticides in Water*, Vol.1, 27-46, 69, CRC Press, Florida
- Connell, D.W. dan Miller, G.J., 1995, *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*, 209-220, diterjemahkan oleh Yanti Koestoer, Penerbit UI Press, Jakarta
- Day, J.W., Hall, C.A.S., Kemp, W.M., dan Arancibia, A.Y., 1989, *Estuarine Ecology*, 5-7, 282, 387, 404-406, 531-532, John Wiley and Sons, New York
- Ert, M.V. dan Sullivan, J.B., 1992, Organochlorine Pesticides, dalam Sullivan, J.B. dan Krieger, G.R. (Ed.), *Hazardous Materials Toxicology*, William and Wilkins, London
- Grob, R.L., 1985, *Modern Practice of Gas Chromatography*, 2nd Ed., John Wiley and Sons, New York
- Khan, S.U., 1980, *Pesticide in Soil Environment*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam
- Manahan, S.E., 2000, *Environmental Chemistry*, Ed.7, 136-141, 208-210, CRC Press, New York
- Mukherjee, I., dan Gopal., 2002, Organochlorine Insecticides Residues in Drinking and Ground Water in and around Delhi, *Environmental Monitoring and Assesment Journal*, Vol.76, No.2

- Mumpuni, S., 1995, *Bioakumulasi Pestisida Organoklorin dalam Ikan Belanak (Mugil sp.) di Perairan Cilacap*, Skripsi, Fakultas Farmasi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Noegrohati, S., 1991, *Analysis, Sorption Kinetics in Soil and Distribution of Organochlorine Insecticides Between Various Eco-Compartments, Study in DIY*, Disertasi, Fakultas Farmasi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Noegrohati, S., Mursyidi, A., dan Narsito, 1996, *Degradation Pattern of p,p'-DDT in Indonesian Soil*, Makalah Seminar, International Symposium on Environmental Chemistry and Toxicology, Sydney
- Nriagu, J.O., 1983, *Aquatic Toxicology*, John Wiley and Sons, New York
- Skoog, D.A., dan West, D.M., 1985, *Principles of Instrumental Analysis*, Ed.3, Saunders College Publishing, Philadelphia
- Stetter, J., 1983, Insecticidal Chlorohydrocarbons, dalam Büchel, K.H. (Ed.), *Chemistry of Pesticides*, 24-48, John Wiley and Sons, New York
- Strachan, W.M.J., Glooschenko, W.H., dan Maguire, R.J., 1982, Environmental Impact and Significance of Pesticides, dalam Chau, A.S.Y. dan Afghan, B.K. (Ed.), *Analysis of Pesticides in Water*, Vol.1, CRC Press, Florida
- Sulistyaningsih, T., 2004, *Penyebaran Residu Organoklor di Lingkungan*, Tesis, Jurusan Kimia, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Thapinta, A., dan Hudak, P.F., 2000, Pesticide Use and Residual Occurrence in Thailand, *Environmental Monitoring and Assessment Journal*, Vol.60, No.1
- White, A.T., Martosubroto, P., dan Sadorra, M.S.M., 1989, *The Coastal Environmental Profile of Segara Anakan-Cilacap, South Java, Indonesia*, 2,5-7, 16, 26, 38, 44, International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila
- Willard, H.H., Merritt, Jr., Dean, J.A., dan Settle, Jr., F.A., 1988, *Instrumental Method of Analysis*, 7th Ed., Wadsworth Publishing Co., California
- WHO^b, 1984, *Environmental Health Criteria 40 : ENDOSULFAN*, World Health Organization, Geneva