

PESTISIDA ORGANOKLORINE DI SEDIMEN PESISIR MUARA CITARUM, TELUK JAKARTA: PERAN PENTING FRAKSI HALUS SEDIMEN SEBAGAI PENTRANSPORT DDT DAN PROSES DIAGENESANYA

ORGANOCHLORINE PESTICIDES IN THE COASTAL SEDIMENT OF CITARUM ESTUARY, JAKARTA BAY: THE IMPORTANT ROLE OF FINE FRACTION OF THE SEDIMENT AS THEIR AGENT TRANSPORT AND PROCESSES OF THEIR EARLY DIAGENESIS

T. Prariono^{1*}, H. Razak², I. Gunawan¹

¹ Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor

² Pusat Penelitian Oseanologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

* Korespondensi author: trip@ipb.ac.id

ABSTRACT

*DDT (1,1,1-Trichloro-2,2-bis(chlorophenyl)ethane) and its two derivatives, DDD (1,1-Dichloro-2,2-bis(chlorophenyl)ethane) and DDE (1,1-Trichloro-2,2-bis(chlorophenyl)-ethylene) were identified in the coastal sediment of Citarum Estuary, Jakarta Bay. Eight stations of the sediment sampling were designed in order to obtain the changing of their concentrations adjacent to the estuary as possible input. Sediment samples were collected in the surface layer within a less than 5 cm depth. In addition to pesticides, texture of sediment and total organic carbon were analyzed. Generally, fine fractions (silt and clay) were predominant grain-size of the sediment ranging 21 – 35,8 % and 17,6 – 65,6 %, respectively, while total organic carbon (TOC) ranged from 0,30 – 1,49 %. Concentrations of *p,p'*-DDT varied from 0,621 – 1,187 ppb, concentrations of *p,p'*-DDD ranged from 0,176 – 2,153 ppb and concentrations of *p,p'*-DDE were from 0.181 – 2,254 ppb. The occurrence of total DDT (Σ DDT+DDD+DDE) tended to correlated positively to the fine fraction indicating as transport agent. DDD and DDE as DDT metabolites were formed by biological and chemical processes within predominantly aerobic condition.*

Keywords: pesticide, DDT, DDD, DDE, sediment, transport agent, Citarum, Jakarta Bay

ABSTRAK

DDT (1,1,1-Trichloro-2,2-bis(chlorophenyl)ethane) dan dua derivatinya, DDD (1,1-Dichloro-2,2-bis(chlorophenyl)ethane) dan DDE (1,1-Trichloro-2,2-bis(chlorophenyl)-ethylene) telah diidentifikasi di sedimen pesisir muara Citarum, Teluk Jakarta. Delapan titik stasiun pengamatan pengambilan sample sedimen didesain agar diperoleh hasil perubahan nilai konsentrasinya semakin menjauh dari Muara Sungai yang dianggap sebagai sumber masukan. Contoh sedimen diambil pada lapisan permukaan dengan kedalaman < 5 cm. Disamping pestisida, tekstur sedimen dan kandungan organik karbon juga dianalisis. Tekstur sedimen umumnya didominasi oleh fraksi halus (lanau dan lempung) berturut-turut berkisar antara 21 – 35,8 % dan 17,6 – 65,6 %, sedangkan kandungan karbon organik berkisar antara 0,30 – 1,49 %. Konsentrasi *p,p'*-DDT berkisar antara 0,621 – 1,187 ppb, *p,p'*-DDD berkisar antara 0,176 – 2,153 ppb dan *p,p'*-DDE berkisar antara 0.181 – 2,254 ppb. Keberadaan total DDT (Σ DDT+DDD+DDE) cenderung berkorelasi positif dengan fraksi halus sedimen yang mengindikasikan perannya sebagai agen pentransport. DDD dan DDE sebagai senyawa derivative DDT yang terbentuk melalui proses-proses kimiawi dan biologi yang terjadi lingkungan perairan dominan kondisi aerobik.

Kata Kunci: pestisida, DDT, DDD, DDE, sedimen, proses transport, Citarum, Teluk Jakarta

I. PENDAHULUAN

DDT (1,1,1-Trichloro-2,2-bis(chlorophenyl)ethane) merupakan insektisida sintetis khususnya dibidang pertanian yang sejak lama (awal decade 1970) dilarang karena sifat-sifatnya sangat berbahaya seperti stabilitas dan tahan lama di lingkungan, karsinogen, dan mudah terakumulasi dalam organism (Sarkar dan Gupta, 1987; CCREM, 1987; Quensen III *et al.*, 1998; Turusov *et al.*, 2002). Walaupun demikian, penggunaannya masih berlangsung secara terbatas untuk pemberantasan nyamuk malaria di berbagai negara (Kale *et al.*, 1999; CCME, 1999; Turusov *et al.*, 2002). DDT dapat mencapai ekosistem perairan termasuk pesisir melalui berbagai rute seperti penggunaan secara langsung di permukaan air, secara tidak langsung melalui proses deposisi udara dari proses penguapan hasil penyemprotan atau penguapan yang sudah mengendap di tanah, tanaman dan permukaan air (Preston, 1989). Disamping itu, sifat-sifat fisika-kimiawi seperti daya larut yang rendah dalam air, daya larut tinggi dalam lipid (K_{ow} tinggi dan tinggi K_{oc}), menyebabkan senyawa DDT mudah terikat dalam sedimen dasar dan terakumulasi dalam jaringan organisme.

Transportasi materi merupakan faktor penting keberadaan DDT di lingkungan laut dan hampir sebagian besar terdeposisi dan menghasilkan variabilitas konsentrasi DDT dan derivativenya di sedimen (Ouyang *et al.*, 2003; Hartwell, 2008). Penelitian menunjukkan bahwa partikel halus seperti lanau dan lempung memiliki peran penting dalam proses transportasi materi. Partikel halus tersuspensi dalam air mengabsorpsi DDT bersifat hidrofobik sejak berada di sungai. Deposisi materi halus terjadi saat materi mencapai estuari dan laut karena

pengaruh sifat-sifat kimiawi perairan, dan mengakibatkan DDT lebih banyak berada di sedimen dibandingkan di dalam kolom air. Berbagai sirkulasi air seperti aliran air sungai dan arus pasang surut dapat mempengaruhi sebaran deposisi yang dapat ditunjukkan oleh variasi komposisi ukuran sedimen. Hal ini disebabkan oleh fraksi halus sedimen umumnya memiliki *residence time* yang relatif lama dibandingkan dengan fraksi kasar seperti pasir. Dengan demikian, fraksi halus merupakan komponen penting dalam deposisi DDT di suatu perairan.

Walaupun termasuk senyawa persisten, DDT di lingkungan dihadapkan berbagai proses yang menyebabkan perubahan-perubahan strukturnya dan membentuk DDD dan DDE, serta pada tingkatan tertentu membentuk DDMU dan DDA (Quensen III *et al.*, 1998; Kitamura *et al.*, 2002). Kondisi lingkungan redoks diakui sebagai faktor penentu perubahan-perubahan DDT menjadi metabolitnya. Lingkungan redoks merupakan fungsi dari jumlah banyak bahan organik mudah urai dan oksigen terlarut (Chester, 1990). DDD umumnya terbentuk pada suasana anaerobik, sebaliknya DDE terbentuk pada suasana aerobik (Murty, 1986; White *et al.*, 1994), baik di perairan maupun dalam proses metabolisme dalam organisme (Kate *et al.*, 1999).

Teluk Jakarta merupakan teluk yang mengalir sebanyak 13 muara sungai dari wilayah urban yang sangat padat dan juga terdapat aktivitas pertanian pada wilayah hulu. Hasil penelitian sebelumnya DDT, DDD dan DDE telah teridentifikasi di beberapa wilayah Teluk Jakarta (Razak, 1991; Razak dan Khozanah, 1993). Hal ini memberikan suatu indikasi bahwa residu DDT masih ada yang mungkin pernah dimanfaatkan. Penelitian ini tidak dimaksudkan untuk melihat konsentrasi DDT dan metabolismenya sudah mencemari dan

menurunkan kualitas perairan. Oleh karena itu tujuan penelitian ini adalah menunjukkan proses-proses geokimiawi DDT khususnya peran komponen sedimen fraksi halus dalam proses persebaran DDT di lingkungan pesisir dan kondisi perairan yang mendominasi perubahan DDT menjadi metabolitnya (derivatnya)

II. METODE PENELITIAN

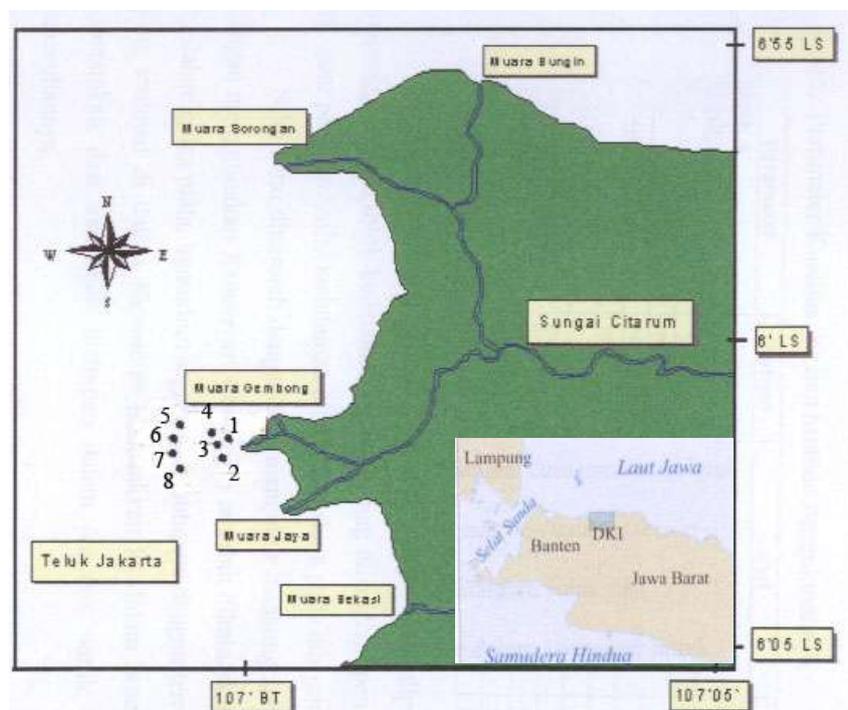
2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di wilayah pesisir yang berhadapan dengan Muara Sungai Citarum dengan mengambil sebanyak 8 (delapan) titik stasiun pengamatan yang tersebar mengelilingi muara, dimana sebanyak 4 (empat) stasiun berada dekat muara dan 4 (empat) stasiun lainnya menjauh kearah

laut. lokasi dan posisi geografis seluruh stasiun pengamatan ditunjukkan dalam Gambar 1 dan Tabel 1.

2.2. Pengambilan Contoh Sedimen

Contoh sedimen dari dasar perairan diambil dengan menggunakan *Ekman Grab* dari bahan *stainless steel* yang sebelumnya telah dibersihkan. Subcontoh sedimen sebanyak 50-60 gram diambil dari dalam *Ekman Grab* melalui bagian atas alat dengan sendok bahan *stainless steel* dan selanjutnya dimasukkan dalam botol gelas berukuran 250 ml yang sudah dibersihkan. Botol sedimen berisi contoh sedimen ditutup yang telah dilapisi dengan aluminium foil untuk menghindari kontaminasi, dan selanjutnya diletakkan dalam kotak dingin selama transportasi menuju laboratorium untuk analisis.



Gambar 1. Lokasi pengambilan contoh sedimen di perairan pesisir Muara Citarum, Teluk Jakarta. Titik-titik diikuti angka 1-8 merupakan stasiun pengambilan sampel. Inset merupakan peta Jawa Barat, DKI, Banten, dan Lampung dimana lokasi penelitian berada.

Tabel 1. Posisi Geografis stasiun pengambilan contoh sedimen

Nomor Stasiun	Posisi Bujur	Posisi Lintang
ST 1	106° 59' 30,0''	06° 01' 38,4''
ST 2	106° 59' 21,4''	06° 01' 55,0''
ST 3	106° 59' 23,0''	06° 01' 59,8''
ST 4	106° 59' 13,0''	06° 01' 39,2''
ST 5	106° 59' 50,7''	06° 01' 20,6''
ST 6	106° 59' 40,6''	06° 01' 35,2''
ST 7	106° 59' 36,5''	06° 01' 56,5''
ST 8	106° 59' 26,7''	06° 01' 25,2''

2.3. Penentuan Karbon Organik Sedimen dan Penentuan Tekstur Sedimen

Penentuan karbon organik sedimen mengikuti metode (Prartono dan Wolff, 1998). Sebanyak 1 gram contoh sedimen kering dihomogenasikan ukuran dan selanjutnya ditambahkan HCl 0,1 N dan diaduk sampai gelembung udara terbentuk hilang. Campuran sedimen dipisahkan bagian padat dan dikeringkan. Sebanyak 1 mg sedimen kering selanjutnya diukur dengan metode pembakaran dengan menggunakan elemental analyzer.

Tekstur sedimen ditentukan dengan analisis pipet yang secara singkat dengan cara mensuspensi contoh fraksi halus dengan larutan 0.5% sodium hexametaphosphate dan partikel dibiarkan mengendap. Saat terjadi pengendapan, contoh diukur dengan hydrometer untuk menghasilkan fraksi lanau dan lempung.

2.4. Ekstraksi Pestisida Organoklorin di Sedimen

Analisis pestisida mengikuti prosedur yang dikembangkan oleh Duinker *et al.* (1980) yang akan diuraikan secara garis besar. Contoh sedimen sebanyak 40 g dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C selama 12-14 jam dan ditambahkan NaSO₄ anhidrat yang telah

dibersihkan dengan Dichlorometana (DCM). Contoh yang sudah kering dihomogenasi dan diekstraksi dengan DCM 250 ml dalam tabung soxhlet selama delapan jam. Ekstrak contoh diuapkan dengan rotoevaporator sampai menjadi 1 ml. Ekstrak contoh dibersihkan lanjut dan fraksinasi dengan cara memasukannya ke dalam melalui kolom kromatografi berisikan Alumina tipe WB-5 "sigma" Basic yang dideaktivasi 10% air dan silika 60 resin 70-230 mesh ASTM yang dideaktivasi 7% air. Alumina dan silika telah dibersihkan dengan DCM sebelum dipergunakan. Kolom berisi ekstrak selanjutnya dielut dengan 17 ml *n*-hexana untuk mendapatkan fraksi tidak polar (*p,p'* DDE) dan 17 ml campuran 10 % dietileter dalam *n*-hexane untuk fraksi lebih polar (DDD dan DDT).

2.5. Analisis Kromatografi Gas

Pestisida organoklorin ditentukan dengan menginjeksikan ke alat Kromatografi Gas HP 5890 series II dengan detektor penangkap electron (ECD), yang dilengkapi dengan kolom kapiler WCOT fused silica CP-SIL 8 CB panjang 50 m berdiameter bagian dalam 0,25 mm dan bagian luar 0.39 mm serta tebal 0,32 mm. Pengoperasian GC diatur pada suhu bertahap yaitu antara 60 - 180⁰ C dengan laju kenaikan 25⁰ C per menit dan didiamkan 12 menit, suhu

antara 180 - 220⁰ C dengan laju kenaikan 4⁰ C per menit dan didiamkan selama 5 menit, dan antara 220 - 270⁰ C dengan laju kenaikan 4⁰ C per menit dan didiamkan selama 15 menit. Suhu injeksi pada 250⁰ C dan suhu detektor pada 250⁰ C.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

3.1.1. Tekstur Sedimen

Secara umum kondisi tekstur sedimen menunjukkan variasi misalnya pasir (>63 μm) antara 21,02-61,39% khususnya di stasiun-stasiun dekat pantai (ST 1 sampai 4), sedangkan pada lokasi ke arah laut tekstur sedimen relative sama (ST 5 sampai ST 8) yaitu didominasi oleh lanau (3,9-63 μm) dan lempung (<3,9 μm) dengan total 94,84-99,44% (Gambar 2).

Komposisi sedimen pada dasarnya mencerminkan proses pembentukan deposisi sedimen yang berhubungan dengan proses transport materi. Sebagai contoh, pada kondisi perairan yang relative tenang komposisi sedimen halus (lanau dan lempung) menjadi dominan terdeposisi, sebaliknya pada perairan dengan arus relative kuat komposisi pasir menjadi relative dominan terendapkan. Pada kasus

wilayah penelitian ini cukup memberikan perbedaan nyata pada tekstur sedimen yang terdisain di kedua kelompok stasiun tersebut. Hal ini diduga berkaitan dengan dinamika kedua wilayah khususnya arus local walaupun letaknya tidak jauh (< 1 km). Lokasi stasiun-stasiun dekat muara diduga memiliki kondisi gerak air (arus) yang lebih dinamis sehingga berpengaruh terhadap dinamika pengendapan terhadap komponen dan ukuran materi yang diendapkan. Dinamika arus seperti variabilitas aliran air dari sungai dan arus pasang surut di laut diduga berperan penting terhadap kurangnya tekstur halus sedimen kurang mudah diendapkan dibandingkan dengan kondisi yang relative jauh dari muara yang diduga cukup lemah dan variabilitas rendah.

Tekstur sedimen juga sangat penting dalam proses transport senyawa termasuk pestisida organoklorin. Ukuran sedimen halus seperti lanau dan lempung sangat berperan dalam mentransportkan senyawa ini, karena partikel yang halus ini memiliki tingkat penyerapan yang lebih baik daripada komponen pasir yang bersifat relative kasar dan rendah absorpsi biologi dan kimiawinya. Secara kimiawi komponen partikel halus juga mengandung berbagai fraksi oksida, karbonat, organik dan sulfida yang akan berperan dalam memodifikasi senyawa yang terserap.



Gambar 2. Komposisi (%) ukuran sedimen (pasir, lanau dan lempung) yang dapat di stasiun-stasiun pengamatan.

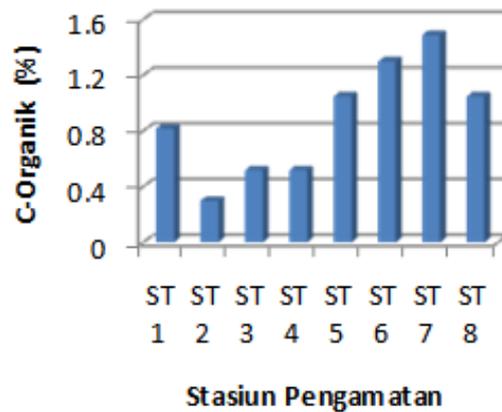
3.1.2. Karbon Organik

Karbon organik merupakan salah satu komponen penting sebagai penyusun kimiawi sedimen. Karbon organik dapat berasal dari berbagai materi alam maupun antropogenis khususnya sedimen di wilayah pesisir yang penuh dengan masukan limbah dari aktifitas manusia. Walaupun komponen organik dapat terdekomposisi dan dikembalikan sebagian ke komponen anorganik, sebagian masih terpreservasi dan menjadi komponen penting sebagai bagian dari penyusun partikel kimiawi sedimen dan berkemampuan menyerap senyawa kimiawi terlarut lain termasuk pestisida. Karbon organik sebagai komponen juga mudah terakumulasi ke dalam partikel lebih halus seperti lanau dan lempung.

Secara umum karbon organik dalam sedimen juga menunjukkan variasi nilai antara 0,30 – 1,49 % total sedimen (Gambar 3). Jika dikaitkan dengan letak posisi stasiun kelompok stasiun dekat pantai relative lebih rendah (kecuali ST 1) bila dibandingkan dengan kelompok stasiun-stasiun relative jauh dari pesisir. Hal ini cukup mengindikasikan kondisi yang sangat berketepatan jika dikaitkan dengan kondisi hasil tekstur di atas. Di wilayah pesisir komposisi pasir yang relative tinggi umumnya mengandung jumlah karbon organik bila dibandingkan dengan sedimen dengan komposisi ukuran lebih halus (lanau dan lempung) seperti pada stasiun-stasiun 5-8. Dengan kata lain, komposisi tekstur sedimen sangat menentukan kandungan karbon organik.

Karbon organik sangat penting peranannya di dalam proses kimiawi di sedimen. Selain memiliki kemampuan menyerap materi kimiawi terlarut dalam kolom air, karbon organik juga mempengaruhi system kimiawi seperti proses reduksi-oksidasi (redoks). Karbon organik akan teroksidasi yang mengkonsumsi oksigen dalam proses

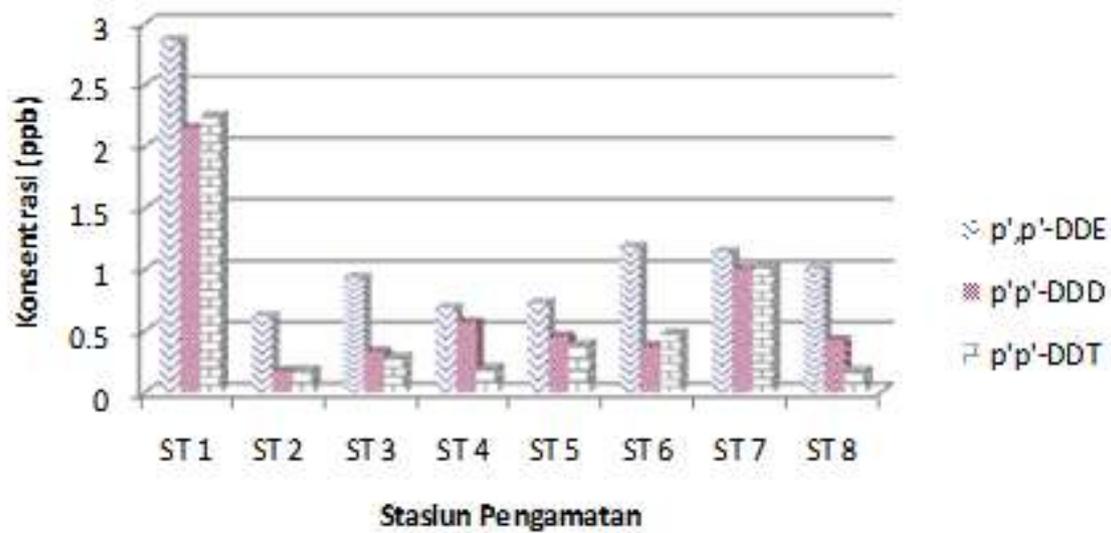
dekomposisi. Jika karbon organik berlebih, oksigen terlarut dalam air akan habis dan menyebabkan kondisi anoxic/anaerobik. Perubahan kondisi perairan tanpa oksigen ini dari kondisi Oxic/aerobik (banyak oksigen) akan memberikan konsekuensi terhadap reaksi kimiawi yang terjadi dalam kolom air dan sedimen termasuk reaksi-reaksi pestisida organoklorin.



Gambar 3. Kandungan karbon organik (%) di sedimen menurut stasiun pengamatan

3.1.3. Kandungan Pestisida

Konsentrasi pestisida organoklorin *para-para*-Diklorodifeniltrikloroetana (*p,p'*-DDT) berkisar antara 0,621 – 1,187 ppb. Disamping itu, terdeteksi turunan kimiawinya seperti *para-para*-Diklorodifenildikloroetana (*p,p'*-DDD) yang berkisar antara 0,176 – 2,153 ppb dan *para-para*-Diklorodifeniltrikloroetana (*p,p'*-DDE) yang berkisar antara 0,181 – 2,254 ppb (Gambar 4). Pestisida dan turunannya ini banyak ditemukan di ST 1 yang berada di dekat muara Sungai Cimanuk merupakan suatu indikasi terdapat inputan antropogenik. Sangat penting dalam Gambar 4 adalah ada kecenderungan DDT dalam sedimen meningkat pada stasiun-stasiun relatif jauh dari pantai (ST 5 – ST 8). Hal ini diduga berkaitan dengan proses transport materi pada saat terjadi proses deposisi sedimen.



Gambar 4. Kandungan DDE, DDD dan DDT (ppb) dalam contoh sedimen menurut stasiun pengamatan

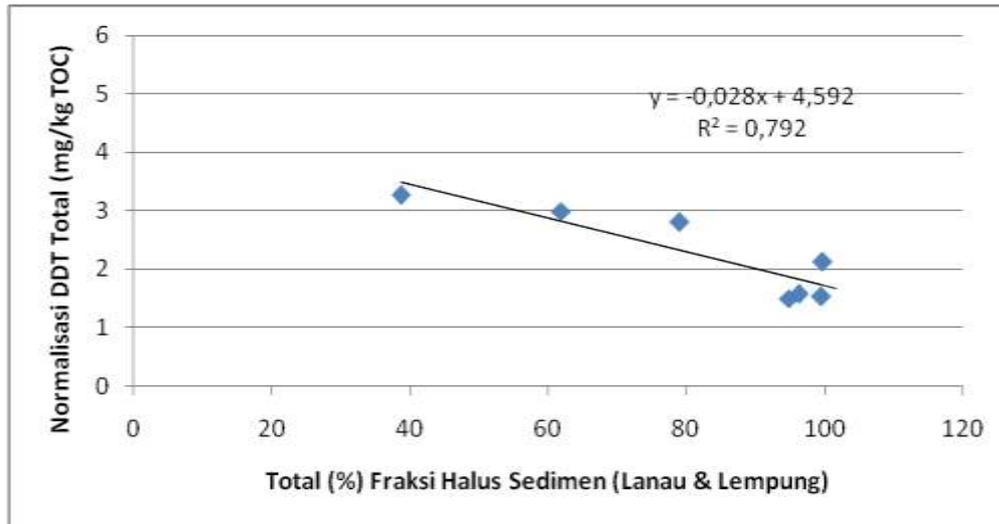
3.2. Pembahasan

3.2.1. Peran Fraksi Halus Sedimen dalam Transport Pestisida Organoklorin

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa DDT terdapat dalam sedimen dan bervariasi menurut lokasi pengamatan (Gambar 4). Karena DDT merupakan senyawa antropogenik, maka keberadaannya sampai pada lokasi-lokasi tersebut adalah karena ada proses yang mentransport dan mendeposisikannya. Secara umum deposisi senyawa kimiawi sangat ditentukan oleh reaktivitas senyawa, keberadaan partikel tersuspensi, dan kekuatan arus Chester (1990). Asosiasi fraksi partikel halus sebagai transport DDT merupakan fenomena umum terjadi dan hal ini ditunjukkan seperti keberadaan DDT di wilayah paparan benua lepas pantai California (Ouyang *et al.*, 2003; Hartwell, 2008). Dalam

kasus DDT di pesisir Muara Citarum, DDT dan turunannya (DDE dan DDD) masuk ke perairan pesisir melalui berbagai rute salah satu diantaranya adalah aliran sungai dimana polutan terabsorpsi ke partikel tersuspensi dan ditransportasikan ke muara. Saat terjadi pencampuran antara air sungai dan air laut, perubahan kimiawi air tersebut mengakibatkan deposisi partikel tersuspensi termasuk DDT.

Untuk memperlihatkan pengaruh tekstur sedimen terhadap absorpsi DDT, konsentrasi DDT dinormalisasikan dengan komponen konservatif karbon organik total (TOC) yaitu dengan cara membagi nilai DDT total dibagi dengan nilai TOC. Selanjutnya dihubungkan dengan tekstur sedimen dan menghasilkan kurva korelasi negatif (Gambar 5) yang berarti bahwa konsentrasi DDT cenderung dipengaruhi tekstur atau ukuran sedimen (Ouyang *et al.*, 2003).



Gambar 5. Hubungan antara fraksi halus sediment (%) dengan Total DDT (mg/kg TOC) di sedimen pesisir Muara Citarum.

Disamping itu, korelasi negatif juga mengindikasikan keterkaitan Kemampuan fraksi halus dalam mengabsorpsi DDT dan kandungan organik dalam fraksi halus. Sifat lipofilik DDT menjadikannya sangat mudah terikat dalam komponen bahan organik termasuk akumulasi dan bersifat persisten dalam biota (Falandysz *et al.*, 2001). Peran bahan organik seperti asam humus memiliki kapasitas absorpsi lebih tinggi daripada lempung sendiri. Pentingnya komponen asam humus telah ditunjukkan mampu meningkatkan sampai 60 % adsorpsi DDT dalam kolom air laut (Pierce *et al.*, 1974).

Dengan demikian, keterangan di atas dapat menerangkan bagaimana partikel tersuspensi halus yang mengandung bahan organik sangat penting sebagai agen transport polutan DDT. Perbedaan sirkulasi arus permukaan berperan dan menyebabkan variabilitas deposisi partikel halus yang deposisikan ke sedimen. Hal ini mungkin dapat memberikan alasan terjadinya variasi konsentrasi yang ditunjukkan dengan tingginya konsentrasi pada ST 1 dengan posisi dekat mulut

sungai dan terjadi penurunan di ST 2 – ST 4, serta meningkat pada ST 5 – ST 8.

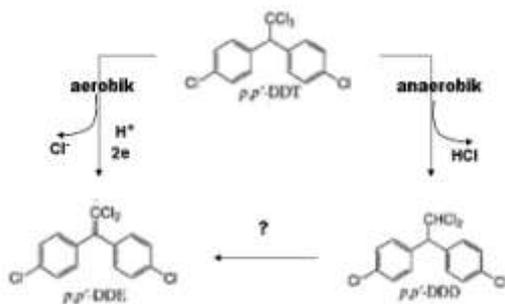
3.2.2. Perubahan Awal Diagenesa DDT

Keberadaan DDT, DDE and DDD sangat umum ditemukan di lingkungan perairan termasuk sedimen dan di berbagai kasus DDE menjadi lebih dominan (Evenset *et al.*, 2005; Sujatha *et.al.*, 2006). Kondisi ini juga terdapat pada hasil pengamatan yang menunjukkan konsentrasi DDE tertinggi di seluruh stasiun pengamatan (Gambar 4). Tidak seperti DDT, kedua derivat (DDE dan DDD) ini sebenarnya lebih banyak terbentuk karena proses-proses di lingkungan (Quensen III *et al.*, 1998).

Walaupun mekanisme dan faktor yang berperan dalam perubahan belum jelas benar diketahui, perubahan DDT menjadi DDD melalui proses deklorinasi, sedangkan DDT menjadi DDE melalui proses dehidroklorinasi. Perubahan DDT di perairan sangat dipengaruhi oleh kondisi perairan dan juga bisa terjadi melalui proses metabolisme. DDT di sedimen sebagian

besar dikonversi menjadi DDE dalam kondisi aerobik, dan menjadi DDD pada kondisi anarobik (Murty, 1986; White *et al.*, 1994). Di sedimen, fraksi DDD terbentuk secara dominan dari pada DDE pada kondisi aerobik dalam penelitian laju degradasi ^{14}C -DDT, tetapi DDD sangat sedikit terbentuk dalam tubuh kimah (Kate *et al.*, 1999). Kitamura *et al.* (2002) menunjukkan bahwa perubahan DDT terjadi secara enzimatis (pemberian NADPH dan NADH) menjadi DDD lebih banyak daripada DDE dalam kondisi anaerobik walaupun DDE juga terbentuk dari DDD tanpa penambahan enzim.

Keberadaan DDD dan DDE di sedimen pesisir Muara Citarum jelas mengindikasikan perubahan DDT pada masa diagenesa awal. Diagenesa awal sangat ditentukan oleh kondisi redoks lingkungan dan terjadi dalam sistem kolom air, sistem pada fase batas antara air dan sedimen, dan sistem pada fase batas air antara (*interstitial water*) dan sedimen (Chester, 1990). Secara keseluruhan informasi di atas memberikan indikasi bahwa konsentrasi DDE lebih tinggi daripada DDD yang berarti perubahan cenderung dalam kondisi aerobik. Secara skematik proses alur perubahan DDT menjadi derivatinya dapat diilustrasikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Tentatif alur diagenesa awal DDT menjadi DDD dan DDE

IV. KESIMPULAN

DDT dan derivativenya (DDD, DDE) ditemukan di sedimen sekitar pesisir Muara Citarum, Teluk Jakarta. Konsentrasi menunjukkan variabilitas sangat berkorelasi dengan fraksi halus sedimen, mengindikasikan peran penting partikel tersebut dalam transportasi dan deposisinya di perairan tersebut. Konsentrasi DDE relatif lebih tinggi dibandingkan hasil konsentrasi derivative lainnya (DDD) menunjukkan bahwa proses diagenesa awal DDT dominan pada kondisi aerobik.

DAFTAR PUSTAKA

- Canadian Council of Ministers of the Environment. 1999. Canadian sediment quality guideline for the protection of aquatic life: DDT, DDE, and DDD. In: Canadian environmental quality guideline, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- Canadian Council of Resources and Environment Ministers. 1987. Canadian water quality guideline. Task force of water quality guideline.
- Chester, R. 1990. Marine Geochemistry. Unwin Hyman, London.
- Duinker, J.C., M.T.J. Hillebrand, K.H. Palmork dan S. Wilhemson. 1980. An evaluation of existing methods for quantification of polychlorinated biphenyls in environmental and suggestion for an improved method based on measurement of individual components. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 25:956-964.

- Evenset, A., G.N. Christensen dan U. Berger. 2005. Organochlorines, polybrominated diphenyl ethers and perfluorinated compounds in marine sediment from Isfjorden, Svalbard.
- Falandysz, J., L. Strandberg, T. Puzyn, M. Gućia, and C. Rappe. 2001. Chlorinated cyclodiene pesticide residues in blue mussel, crab, and fish in the Gulf of Gdansk, Baltic Sea. *Environ. Sci. Technol.* 35:4163–4169
- Hartwell, S.I. 2008. Dsistributuon of DDT and other persistent organic contaminants in Canyons and on the continental shelf off the central California coast. *Mar. Environ. Res.* 65:199 – 217.
- Kale., S.P., N.B.K. Murthy, K. Raghu, P.D. Sherkhane, F.P. Carvalho. 1999. Studies on degradation of ¹⁴C-DDT in the marine environment. *Chemosphere*, 39:959-968.
- Kitamura, S., Y. Shimizu, Y. Shiraga, M. Yoshida, K. Sugihara dan S. Ohta. 2002. Reductive metabolisme of p,p'-DDT and o,p'-DDT bay rate liver cytochrome P450. *Am. Soc. Pharmacol. Experim. Ther.* 30:113 – 118.
- Murty, A.S. 1986. Toxicity of Pesticides to Fish, Vol 1. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.
- Ouyang, Y., P. Nkedi-Kizza, R.S. Mansell and J.Y. Ren. 2003. Organic Compounds in the Environment: Spatial Distribution of DDT in Sediments from Estuarine Rivers of Central Florida. *J. Environ. Qual.* 32:1710-1716
- Pierce, R.H., Jr., C.E. Olney, Charles, G.T. Felbeck, Jr. 1974. pp'-DDT adsorption to suspended particulate matter in sea water. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 38: 1061-1073
- Prartono, T dan G.A. Wolff. 1998. Organic geochemistry of lacustrine sedimens: a record of the changing trophic status of Rostherne Mere, UK. *Org. Geochem.* 28(11):729 – 747.
- Preston, M.R. 1989. Marine pollution. In Chemical Oceanography Vol 9 J.P. Riley (ed) 53-196, Academic Press.
- Quensen III, J.F., S.A. Mueller, M.K. Jain, J.M. Tiedje. 1998. Reductive dechlorination of DDE to DDMU in marine sediment microcosms. *Science*, 280:722-724.
- Razak, H. 1991. Penelitian pendahuluan senyawa organoklorine pada kerang hijau (*Mytilus viridis*) di perairan Teluk Jakarta. Hal 232-238. In Biologi menunjang ketahanan bangsa melalui perbaikan mutu pangan, kesehatan lingkungan. Prosiding Seminar Ilmiah dan Kongres Nasional Biologi X, 24-26 September 1991, Bogor, Indonesia.
- Razak, H dan Khozanah. 1993. Kadar pestisida organokhlorin di perairan Teluk Jakarta. In H.P. Hutagalung, D. Setiapermana, dan Sulistijo, eds. Makalah penunjang seminar pemantauan pencemaran laut, 1994. Pusat Penelitian Oseanologi – LIPI, Jakarta
- Sarkar, A, dan R.S. Gupta, 1987. Chlorinated pesticide residues in sediment from the Arabian Sea along the central west coast of India. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 39:1049-1054.
- Sujatha, C. H., S. M. Nair, N. C. Kumar, J. Chacko. 2006. Distribution of dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) and its metabolites in an Indian waterway. *Environ. Toxicol. Wat. Qual.* 9 :155 – 160.

Pestisida Organoklorine Di Sedimen Pesisir Muara Citarum, Teluk Jakarta: Peran Penting Fraksi Halus Sedimen Sebagai Pentransport Ddt Dan Proses Diagenesanya

- Turusov, V., V. Rakitsky, L. Tomatis.
2002. Dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT): ubiquity, persistence and Risks. *Environ. Health. Pers.* 110(2):125-128.
- White, P.J., N.P. Kohn., W.W. Gardiner., J.Q. Word. 1994. The remedial investigation of marine sediment at the United Heckathorn Superfund Site. Battelle Memorial Institute.