

KARAKTERISTIK JERAPAN SENYAWA HIDROKARBON AROMATIS POLISIKLIK (DIBENZOFURAN) DI BERBAGAI JENIS TANAH

Yanisworo Wijaya Ratih

Prodi Agroteknologi UPN "Veteran" Yogyakarta
Jl. Lingkar Utara, Condongcatur Yogyakarta 55283 Telp/Fax. 0274-486737
E-mail: woroyanis@yahoo.com

ABSTRACT

When a hydrophobic compound goes in to the soil, it is likely to be absorbed. Sorption does not result in the toxic reduction but it reduced the degradation rate due to the decreased bioavailability. In this article, laboratory experiments were designed to assess the sorption characteristics of hydrophobic compound (dibenzofuran) in three soils with different physicochemical characteristics, also to evaluate the role of soil organic matter toward sorption. Soil samples, Grumosol and Latosol were taken from Gunung Kidul, Yogyakarta and Andosol from Sragen, Central Java. Dibenzofuran sorption isotherms on soils were obtained by the batch aqueous system with initial dibenzofuran solutions 4, 12, 20 and 28 mg.L⁻¹. The system were shaken for 24 h. The concentration of dibenzofuran in the liquid phase was determined using GC after extracted using ethyl acetate and dried by Na₂SO₄. Sorption-desorption isotherms were fitted to the Freundlich equation: $S = K_s \cdot C^{1/n}$. The results shows that Grumosol, Latosol and Andosol has different characteristics at absorbing dibenzofuran. Grumosol has the highest affinity whereas the highest capacity belongs to Andosol. Different from Andosol and Latosol, the sorption capacity of Grumosol is affected by the concentration of soil organic matter.

Keywords: Andosol, dibenzofuran, Grumosol, Latosol, organic matter, sorption

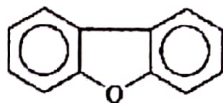
PENDAHULUAN

Pencemaran tanah oleh senyawa hidrofobik, seperti hidrokarbon aromatik polisiklik (HAP), minyak bumi atau pestisida merupakan problem di daerah industri yang memanfaatkan petroleum sebagai bahan dasarnya. Tanah merupakan penampungan bagi kontaminan. Kemampuan tanah dalam menjerap senyawa penting untuk diketahui karena hal tersebut berkaitan dengan kemudahan senyawa mengalami transformasi maupun terombak oleh mikroorganisme. Apabila senyawa hidrofobik masuk ke dalam tanah, maka dapat terjerap oleh permukaan partikel koloid tanah. Peristiwa jerapan terjadi dalam waktu singkat dan semakin lama terpapar

senyawa semakin bersifat persisten karena mengalami penuaan (*aging*). Penjerapan tidak mengakibatkan penurunan sifat toksik, namun mengakibatkan ketersediaannya bagi mikroorganisme berkurang sehingga menurunkan kecepatan perombakannya (Weissenfels *et al.*, 1992; Bosert dan Compeau, 1995; Mahro *et al.*, 1996; Kilbane II, 1998; Ahn *et al.*, 1999; Burgos *et al.*, 1999; Breedveld dan Sparrevik, 2000). Hal ini mengakibatkan senyawa hidrofobik menjadi terakumulasi dan berpotensi menimbulkan bahaya laten. Bahan organik dan mineral lempung paling berperan dalam peristiwa jerapan. Pada umumnya tingkat jerapan polutan hidrofobik berkorelasi positif dengan kadar bahan organik alami tanah.

Dalam lingkungan tanah, masing-masing komponen tersebut saling berinteraksi dan berpengaruh terhadap nasib kontaminan di dalamnya. Interaksi ini bersifat kompleks mengingat setiap bahan tanah mempunyai komposisi dan kadar mineral serta bahan organik yang spesifik dan beragam. Namun demikian selama ini penelitian tentang jerapan kontaminan hidrofobik dalam tanah dilakukan secara terpisah, tidak menyeluruh. Pada umumnya penelitian dilakukan pada tanah pasiran atau lempungan dengan lempung dari golongan smektit. Penelitian ini dilaksanakan menggunakan jenis tanah Grumosol, Latosol dan Andosol sehingga diperoleh contoh tanah dengan tipe lempung bervariasi. Masing-masing jenis tanah terdiri atas empat contoh tanah yang bervariasi kadar bahan organiknya.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui karakter jerapan tanah serta mengevaluasi peranan bahan organik terhadap jerapan senyawa hidrofobik dalam tanah. Dibenzofuran digunakan sebagai senyawa polisiklik aromatik hidrofobik karena mempunyai struktur yang sederhana serta dapat digunakan sebagai model bagi kontaminan mirip lainnya seperti dibenzodioksin, fluorena, fluorantena, dibenzofuran terkhlorinasi, fenantrena dan antrasena serta senyawa turunannya, baik yang terkhlorinasi maupun tidak. Struktur kimia dibenzofuran dapat dilihat pada gambar berikut:



Dibenzofuran

Dibenzofuran mempunyai rumus dan berat molekul $C_{12}H_8O$ dan 168,19. Dibenzofuran merupakan kristal berwarna putih, tidak larut dalam air, mempunyai titik didih $287^{\circ}C$, titik beku $86-87^{\circ}C$, berat jenis uap 5,8 (air = 1), serta tekanan uap sebesar 0,0044 mmHg pada $25^{\circ}C$ (U.S. EPA, 1994).

BAHAN DAN METODE

Tanah yang digunakan adalah jenis Andosol yang berasal dari Tawangmangu, Grumosol dari Sragen, serta Latosol dari Pathuk, Gunung Kidul. Untuk mendapatkan kadar bahan organik yang bervariasi maka masing-masing jenis tanah diambil dari delapan lokasi dengan penggunaan lahan yang berbeda. Contoh tanah Andosol dari lokasi satu sampai dengan delapan diberi notasi A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7 dan A8. Melalui cara pemberian notasi yang sama dengan Andosol maka contoh tanah Grumosol dan Latosol diberi notasi G1, G2, G3, G4, G5, G6, G7 dan G8 serta L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7 dan L8. Contoh tanah diambil dari jeluk 0-20 cm, dikering-anginkan, ditumbuk dan diayak menggunakan ayakan dengan diameter lubang berukuran 2 mm. Berdasarkan perbedaan kadar bahan organiknya, dari delapan lokasi dari masing-masing jenis tanah ditentukan empat contoh tanah untuk penelitian selanjutnya.

Karakterisasi Contoh Tanah yang Dipilih

Tekstur tanah ditetapkan menggunakan metode pipet (Puslitanak, 1998). Golongan mineral ditentukan berdasarkan analisis defraksi menggunakan X-ray. C organik ditetapkan menggunakan metode Walkley-Black. pH-NaF ditetapkan menggunakan pH-meter. Kadar humat dan fulvat ditetapkan setelah dilakukan fraksionasi bahan organik berdasarkan kelarutannya dalam asam dan basa.

Parameter jerapan ditentukan dalam sistem cair yang mengandung tanah dengan empat konsentrasi dibenzofuran yang berbeda (Singh *et al.*, 1989). Satu gram tanah ditambah dengan 10 ml metanol 7,5% dan 400 μl $HgCl_2$ 0,1% sebagai *bioinhibitor*. Dibenzofuran ditambahkan dari stok 50.000 $mg.L^{-1}$ hingga kadarnya masing-masing mencapai 4, 12, 20 dan 28 $mg.L^{-1}$. Dilakukan penggojogan 125 rpm selama 24 jam. Selanjutnya fase tanah dipisahkan dari

fase cair metanol melalui sentrifugasi 3000 rpm selama 5 menit. Sebanyak 5 ml fase cair diambil, kemudian ditambah dengan 5 ml etil asetat. Fenantrena ditambahkan hingga kadarnya mencapai 20 mg.L⁻¹ sebagai *internal standard*. Campuran digojog kuat selama satu menit. Fase etil asetat (di lapisan atas) diambil dilewatkan pada kolom yang berisi Na₂SO₄. Selanjutnya, untuk menentukan jumlah dibenzofuran dalam fase cair setelah proses jerapan selama 24 jam berlangsung, sebanyak satu µl fase etil asetat disuntikkan ke dalam *gas chromatography* (Shimadzu 14B) dengan kolom kapiler silika HP1 yang dihubungkan dengan *flame ionization detector* (GC-FID). Panjang kolom 25 m dan diameter 0,2 mm. Suhu kolom 250°C dan suhu detektor 260°C, tekanan gas pembawa (N₂) sebesar 150 kPa, kecepatan alir gas pembawa 25 ml/menit. Suhu detektor dan kecepatan aliran gas ditentukan berdasarkan hasil pengukuran pendahuluan untuk menentukan kondisi GC yang optimal (Huy *et al.*, 1999).

Kemampuan desorpsi dianalisis dengan menambahkan kembali 5 ml metanol 7,5% ke dalam campuran tanah-metanol yang sudah mengalami jerapan, ditambah 200 µl HgCl₂ 0,1%, kemudian digojog kembali 125 rpm selama 24 jam. Fase tanah dipisahkan dari fase cair metanol dengan disentrifus 5000 rpm selama 5 menit. Sebanyak 5 ml dari fase cair diambil, kemudian ditambah dengan 5 ml etil asetat dan fenantrena hingga kadar mencapai 20 mg.L⁻¹ sebagai *internal standard*. Campuran digojog kuat selama satu menit. Fase etil asetat diambil dan dilewatkan pada kolom yang berisi Na₂SO₄, kemudian diambil satu µl disuntikkan ke dalam GC untuk ditentukan jumlah dibenzofuran dalam larutan setelah terjadi proses desorpsi.

Kapasitas dan afinitas jerapan maupun desorpsi ditentukan menggunakan rumus Freundlich, $S = K_r \cdot C^N$. Bentuk linier dari persamaan tersebut adalah: $\log S = \log K_r + N \log C$. S (mg.kg⁻¹) adalah jumlah senyawa

dalam fase padat setelah mencapai kesetimbangan. C (mg.L⁻¹) adalah jumlah senyawa dalam fase cair setelah mencapai kesetimbangan, sedangkan K_r (L.kg⁻¹) dan N_r berturut-turut adalah kapasitas jerapan dan afinitas jerapan. Persamaan tersebut juga berlaku untuk menentukan kemampuan desorpsi. Untuk menunjukkan kemudahan senyawa mengalami desorpsi maka ditentukan nilai koefisien H, dengan persamaan (Celis *et al.*, 2006): $H = N_d/N_s$. N_d adalah afinitas desorpsi dan N_s adalah afinitas sorpsi/jerapan. Apabila jerapan hanya dilakukan oleh bahan organik, maka kapasitas jerapan dinyatakan dalam K_{oc} = log (K_r/jumlah C-organik) yaitu nilai logaritmik dari K_r yang dinormalkan dengan fraksi C organik tanah (Guerin dan Boyd 1992).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Tanah yang Digunakan dalam Penelitian

Kadar bahan organik delapan contoh tanah dari masing-masing jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 1. Uji keragaman menunjukkan bahwa kadar bahan organik contoh tanah bervariasi pada delapan lokasi dengan penggunaan lahan yang berbeda. Berdasarkan perbedaan kadar bahan organiknya dari masing-masing jenis tanah dipilih empat contoh tanah. Andosol mempunyai kisaran kadar bahan organik yang paling lebar. Kadar bahan organik ke empat contoh tanah yang dipilih yaitu A1, A2, A4 dan A6 mempunyai nilai yang berbeda nyata, berkisar antara 11,51% pada A6 sampai dengan 25,13% pada A4 dan reratanya adalah 18,41%. Grumosol mempunyai kisaran kadar bahan organik yang lebih rendah dari pada Andosol sehingga dari empat contoh tanah yang dipilih yaitu G3, G5, G7 dan G8, tiga lokasi diantaranya mempunyai nilai berbeda nyata.

Tabel 1. Kadar bahan organik delapan contoh tanah dari masing-masing jenis tanah

Lokasi	Jenis tanah					
	Grumosol (%)	Harkat (Landon, 1991)	Latosol (%)	Harkat (Landon, 1991)	Andosol (%)	Harkat (Landon, 1991)
1.	3,82 <i>ab</i>	Rendah	3,63 <i>ab</i>	Rendah	20,66 <i>b</i>	Sangat tinggi
2.	3,20 <i>bc</i>	Rendah	2,20 <i>d</i>	Rendah	16,14 <i>cd</i>	Tinggi
3.	2,80 <i>cd</i>	Rendah	2,42 <i>cd</i>	Rendah	13,45 <i>de</i>	Tinggi
4.	3,90 <i>ab</i>	Rendah	4,04 <i>a</i>	Sedang	25,13 <i>a</i>	Tinggi
5.	2,00 <i>e</i>	Rendah	3,53 <i>ab</i>	Rendah	21,54 <i>b</i>	Tinggi
6.	2,10 <i>de</i>	Rendah	3,65 <i>ab</i>	Rendah	11,51 <i>e</i>	Tinggi
7.	3,45 <i>bc</i>	Rendah	2,68 <i>bcd</i>	Rendah	19,67 <i>bc</i>	Tinggi
8.	4,50 <i>a</i>		3,47 <i>abc</i>	Rendah	19,91 <i>c</i>	Tinggi
Rerata dari empat contoh tanah yang dipilih	3,20	Rendah	3,10	Rendah	18,41	Tinggi

Keterangan: Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut uji DMRT pada taraf 5%

Tabel 2. Sifat Grumosol yang digunakan dalam penelitian

Sifat tanah yang diuji	G3	G5	G7	G8
Bahan organik (%)	2,80	2,00	3,45	4,50
Humat (%)	1,42	0,96	0,21	0,40
Fulvat (%)	0,33	0,71	0,55	0,72
KPK (cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)	29,90	30,30	30,60	25,90
Tekstur	Lempungan	Lempungan	Lempungan	Lempungan
Pasir (%)	27,20	8,60	10,90	13,50
Debu (%)	25,30	35,6	29,20	30,30
Lempung (%)	47,50	55,8	59,90	56,20
Golongan lempung	Smektit	Smektit	Smektit	Smektit

Kadar bahan organik empat contoh tanah Grumosol yang dipilih berkisar antara 2,00% pada G5 sampai dengan 4,50% pada G8 dan reratanya adalah 3,20%. Kisaran kadar bahan organik pada Latosol paling rendah sehingga dari empat contoh tanah yang dipilih yaitu L2, L7, L8 dan L4 hanya dua lokasi yang berbeda nyata. Kadar bahan organik empat contoh tanah Latosol yang dipilih berkisar antara 2,20% pada L2 sampai dengan 4,04% pada L4 dan reratanya adalah 3,10%. Hasil analisis sifat contoh tanah yang diuji dapat dilihat pada Tabel 2, 3 dan 4.

Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa tekstur tanah Grumosol termasuk dalam

kriteria lempungan dengan golongan lempung berupa smektit, yang merupakan tipe lempung 2:1 dengan sifat kembang kerut. Meskipun mempunyai tekstur yang sama dengan contoh tanah Grumosol lainnya, namun G3 mempunyai kadar pasir paling tinggi dan lempung paling rendah. Kadar pasir pada G3, G5, G7 dan G8 berturut-turut sebesar 27,2%, 8,6%, 10,9% dan 13,5%, sedangkan kadar lempungnya berturut-turut sebesar 47,5%, 55,8%, 59,9%, 56,2%.

Data pada Tabel 3 menunjukkan bahwa tekstur tanah Latosol termasuk dalam kriteria lempungan dengan golongan lempung berupa metahalosit, yang

merupakan tipe lempung 1:1. Kadar pasir pada L2, L4, L7 dan L8 berturut-turut sebesar 20,40%, 12,10%, 18,90 dan 27,2%, sedangkan kadar lempungnya berturut-turut sebesar 39,80%, 62,80%, 31,509% dan 70,80%. Data pada Tabel 4 menunjukkan bahwa tekstur tanah Andosol berupa geluh pasiran. Jenis lempung tidak dianalisis karena lempung pada Andosol berbentuk amorf (Tan, 1984).

Kemampuan Jerapan dan Desorpsi Tanah terhadap Dibenzofuran

Hasil analisis kemampuan tanah menyerap dibenzofuran disajikan pada Gambar 2 dan Tabel 5. Berdasarkan kemiringan awal kurva, isotherm jerapan dibenzofuran oleh Grumosol termasuk dalam kategori L, Latosol termasuk dalam kategori kurva S, sedangkan dalam A1 dan

A2 termasuk kategori L dan jerapan dibenzofuran dua contoh Andosol lainnya adalah kurva S. Bentuk kurva L merupakan *resultante* dari afinitas tanah yang relatif tinggi terhadap senyawa dan peningkatan konsentrasi senyawa kurang berpengaruh terhadap koefisien kurva atau afinitas tanah. Bentuk kurva S menunjukkan bahwa afinitas tanah terhadap senyawa rendah. Namun demikian afinitas dapat meningkat dengan bertambahnya konsentrasi senyawa (Sposito, 1989).

Secara matematis bentuk isotherm jerapan dijabarkan dalam persamaan Freundlich. Hasil perhitungan parameter jerapan, berupa: K_s (kapasitas jerapan), N_s (afinitas jerapan), K_d (kapasitas desorpsi), N_d (afinitas desorpsi), $H = N_d/N_s$ serta K_{oc} disajikan pada Tabel 5.

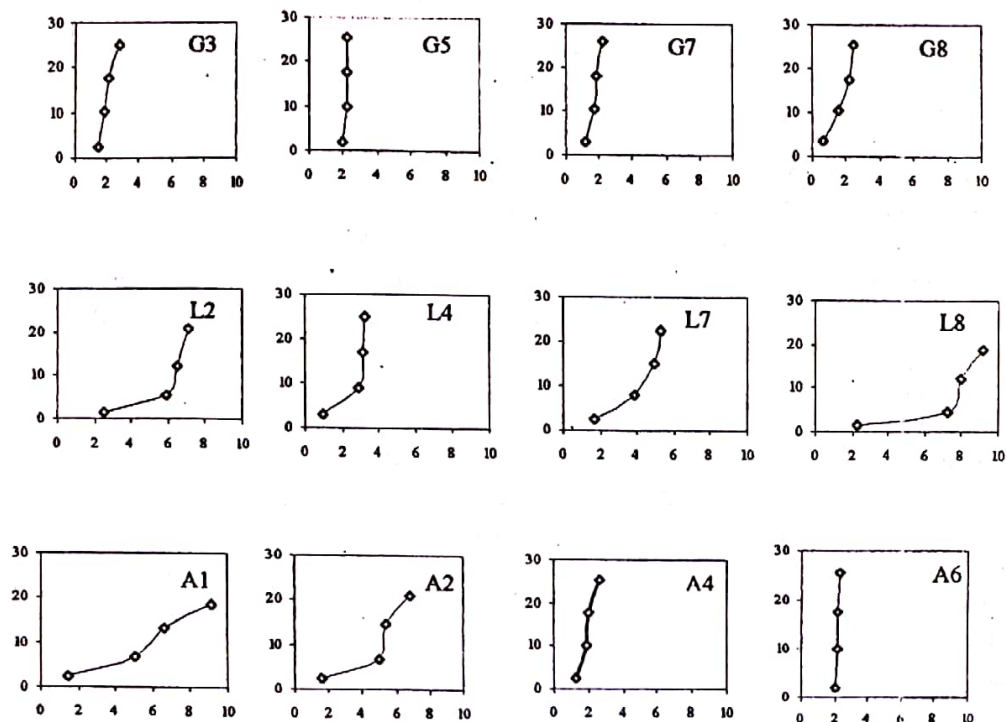
Tabel 3. Sifat fisik dan kimia Latosol yang digunakan dalam penelitian

Sifat tanah yang diuji	L2	L4	L7	L8
Bahan organik (%)	2,20	4,04	2,68	3,47
Humat (%)	0,33	1,22	0,65	0,68
Fulvat (%)	0,21	0,44	0,89	0,91
KPK (cmol(+) kg^{-1})	25,30	23,70	21,10	27,30
Tekstur	Lempungan	Lempungan	Lempungan	Lempungan
Pasir (%)	20,40	12,10	18,90	6,50
Debu (%)	39,80	25,10	49,60	22,80
Lempung (%)	39,80	62,80	31,50	70,80
Jenis lempung	Metahaloisit	Metahaloisit	Metahaloisit	Metahaloisit

Tabel 4. Sifat Andosol yang digunakan dalam penelitian

Sifat tanah yang diuji	A1	A2	A4	A6
Bahan organik (%)	20,66	16,40	25,13	11,54
pH (NaF)	11,7	11,8	11,6	11,3
Humat (%)	7,83	7,62	7,10	3,41
Fulvat (%)	4,84	4,26	5,53	4,04
KPK (cmol(+) kg^{-1})	13,10	12,80	20,10	11,70
Tekstur	Geluh pasiran	Geluh pasiran	Geluh pasiran	Geluh pasiran
Pasir (%)	58,90	54,40	61,00	60,30
Debu (%)	34,90	37,70	32,40	38,20
Lempung (%)	6,20	7,90	6,60	1,40
Jenis lempung	Mineral amorf-	Mineral amorf-	Mineral amorf-	Mineral amorf-

Y. Wijaya Ratih: Karakteristik Jerapan Senyawa Hidrokarbon Aromatis Polisiklik (Dibenzofuran)



Gambar 2. Isotermis jerapan dibenzofuran dalam Grumusol, Latosol dan Andosol. Sumbu X menggambarkan jumlah dibenzofuran dalam fase cair (mg.L^{-1}) sedangkan sumbu Y menggambarkan jumlah dibenzofuran dalam fase padat (mg.kg^{-1})

Tabel 5. Karakteristik jerapan dan desorpsi dibenzofuran oleh Grumusol, Latosol dan Andosol

Tanah	Sorpsi/jerapan		Desorpsi		K_{oc} (L.kg^{-1})	H
	K_p (L.kg^{-1})	N_s	K_d (L.kg^{-1})	N_d		
Grumusol 3	6,56 d	6,42 b	0,001 c	94,50 a	2,60 abc	14,72 b
Grumusol 5	1,07 e	18,77 a	0,004 c	31,05 b	1,77 e	1,65 c
Grumusol 7	11,70 c	1,45 bcd	0,005 c	13,85 c	2,77 ab	2,90 c
Grumusol 8	20,21 a	4,78 e	0,001 c	34,00 b	2,89 a	23,40 a
Latosol 2	1,50 e	2,92 de	0,020 c	5,20 d	2,07 cde	1,79 c
Latosol 4	5,66 d	5,21 bc	0,008 c	1,60 f	2,39 abcd	0,31 d
Latosol 7	6,53 d	1,21 e	0,020 c	2,29 e	2,62 abc	1,89 c
Latosol 8	4,37 d	1,99 e	0,150 c	4,50 d	2,33 abcd	2,26 c
Andosol 1	16,76 b	1,41 e	8,270 a	1,80 e	2,15 abcd	1,28 c
Andosol 2	11,19 c	1,81 e	1,050 bc	3,40 d	2,07 cde	1,88 c
Andosol 4	12,03 c	4,40 cd	1,020 bc	3,30 d	1,92 de	0,75 d
Andosol 6	13,23 c	2,10 e	1,650 b	3,55 d	2,29 bcde	1,69 c
RERATA						
Grumusol	9,62 B	7,85 A	0,003 B	43,35 A	2,51 A	5,52 A
Latosol	4,51 C	2,83 B	0,034 B	3,40 B	2,36 AB	1,20 B
Andosol	13,30 A	2,43 B	2,996 A	3,02 B	2,09 B	1,24 B

Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata pada taraf uji 5%

Kapasitas jerapan dinyatakan dalam K_s apabila jerapan kontaminan hidrofobik dilakukan oleh seluruh komponen tanah. Apabila jerapan hanya dilakukan oleh bahan organik, maka kapasitas jerapan dinyatakan dalam $K_{oc} = \log(K_s/\text{jumlah C-organik})$ yaitu nilai logaritmik dari K_s yang dinormalkan dengan fraksi C organik tanah (Guerin dan Boyd 1992). Parameter H digunakan untuk mengetahui kemungkinan senyawa yang terjerap mengalami desorpsi. Nilai $H \geq 0,53$ menunjukkan bahwa interaksi senyawa dengan tanah didominasi oleh mekanisme ikatan yang lemah sehingga mudah mengalami desorpsi (Celis *et al.*, 2006).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kapasitas jerapan (K_s) pada masing-masing jenis tanah yang diuji bervariasi. Rerata K_s Andosol, Grumosol dan Latosol berturut-turut sebesar 13,30; 9,62 dan 4,51 $L.kg^{-1}$. Andosol mempunyai rerata K_s terhadap dibenzofuran yang paling tinggi dan Latosol paling rendah. Menurut Celis *et al.* (2006) bahan organik berperan dalam jerapan dibenzofuran. Namun demikian, jerapan tidak secara eksklusif dapat diprediksi dari kadar bahan organik tanah. Dalam menyerap senyawa pencemar, bahan organik tidak berperan secara individu namun berasosiasi dengan mineral lempung, terutama smektit. Tingginya kapasitas jerapan pada Andosol kemungkinan terutama disebabkan oleh tingginya kadar bahan organik tanah. Hal ini karena rerata kadar bahan organik Andosol sangat tinggi yaitu sebesar 18,41% (Tabel 1). Grumosol dan Latosol mempunyai rerata kadar bahan organik yang hampir sama yaitu berturut-turut sebesar sekitar 3,2% dan 3,1% (Tabel 1), namun demikian rerata kapasitas jerapan kedua jenis tanah tersebut berbeda. Kapasitas jerapan Grumosol dan Latosol berturut-turut sebesar 9,62 dan 4,51 $L.kg^{-1}$. Jenis lempung pada Grumosol adalah smektit, sedangkan lempung pada Latosol adalah metahalosit. Hal ini mengakibatkan meskipun kadar bahan organik kedua jenis

tanah tersebut sama namun kapasitas jerapan Grumosol lebih tinggi daripada Latosol.

Pada empat contoh tanah Andosol yang diuji, kapasitas jerapan tidak berkaitan dengan kadar bahan organik tanah. Hal ini mungkin karena kadar dibenzofuran yang ditambahkan yaitu 4-28 $mg.L^{-1}$ jauh lebih rendah dibandingkan dengan kadar bahan organik tanah Andosol. Kapasitas jerapan Latosol juga tidak dipengaruhi oleh kadar bahan organik. Sampai saat ini asosiasi bahan organik dengan bahan lempung dan pengaruhnya terhadap nasib kontaminan hidrofobik pada Andosol dan Latosol jarang dilaporkan. Pada Grumosol kenaikan kadar bahan organik secara nyata mengakibatkan peningkatan kapasitas jerapan. Kadar bahan organik G5, G3, G7 dan G8 berturut-turut adalah 2,00; 2,80; 3,45 serta 4,50% (Tabel 1) dan K_s pada masing-masing contoh tersebut berturut-turut adalah 1,07; 6,56; 11,70 dan 21,21 $L.kg^{-1}$ (Tabel 5). Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa dalam semua contoh tanah yang diuji, karakteristik jerapan tidak dipengaruhi oleh kadar humat maupun fulvat tanah.

Karakter jerapan dibenzofuran oleh ketiga jenis tanah yang diuji tidak dipengaruhi oleh nilai KPK contoh tanah. Hal ini mungkin karena dibenzofuran merupakan senyawa hidrofobik sehingga tidak bereaksi dengan muatan tanah.

Jerapan senyawa pada tanah Grumosol sangat kompleks. Mineral lempung tipe 2:1 seperti smektit dan bahan organik tanah menyumbang proses jerapan senyawa pencemar. Celis *et al.* (2006) mengatakan bahwa interaksi bahan organik dengan lempung mengakibatkan timbulnya wilayah penjerap baru. Pertukaran Na, Ca dan Mg dengan kation organik dalam Grumosol mengakibatkan penurunan muatan sehingga permukaan lempung yang hidrofilik menjadi lebih hidrofobik. Hal ini karena kation organik mempunyai *sphere* kation terhidrasi yang berukuran lebih kecil dari pada Na, Ca dan Mg. Penurunan densitas muatan permukaan lempung sehingga menjadi

bersifat lebih hidrofobik mengakibatkan kemampuan permukaan lempung menjerap senyawa hidrofobik meningkat (Lee *et al.*, 1990; Laird *et al.*, 1992). Di samping mengakibatkan penambahan wilayah hidrofobik, bahan organik juga mengakibatkan modifikasi lempung sehingga mampu menahan senyawa pencemar. Hasil penelitian Li *et al.* (2003) menunjukkan bahwa jerapan pestisida hidrofobik pada lempung yang dimodifikasi dengan asam humat lebih tinggi dibandingkan dengan jerapan oleh individu lempung dan individu asam humat. Jerapan pada kompleks lempung-asam humat merupakan penjumlahan dari kemampuan jerapan individu lempung dan asam humat.

Apabila hanya dilakukan oleh bahan organik, maka jerapan dinyatakan dalam K_{oc} . Nilai K_{oc} dari empat contoh Latosol maupun empat contoh tanah Andosol tidak berbeda nyata, yaitu berkisar antara 2,07 dan 2,62 $L.kg^{-1}$ untuk Latosol serta antara 1,92 dan 2,29 $L.kg^{-1}$ untuk Andosol. Tergantung jenis senyawa hidrofobiknya, nilai K_{oc} biasanya sekitar 2. Variasi dalam nilai K_{oc} menunjukkan bahwa konstituen bahan organik yang berperan dalam proses jerapan senyawa pencemar hidrofobik adalah bervariasi. Dengan demikian, meskipun contoh tanah diambil dari empat lokasi yang berbeda namun konstituen bahan organik yang berperan sebagai penjerap dibenzofuran dalam Latosol maupun Andosol adalah seragam.

Pada Grumosol, K_{oc} dari G3, G7 dan G8 adalah sama namun berbeda nyata dengan G5. Nilai K_{oc} G3, G7 dan G8 berturut-turut adalah 2,60; 2,77 dan 2,89 $L.kg^{-1}$, sedangkan pada G5 adalah 1,77 $L.kg^{-1}$. Menurut Celis *et al.* (2006) keragaman bahan organik dan interaksi bahan organik dengan lempung mengakibatkan keragaman nilai K_{oc} .

Nasib senyawa pencemar hidrofobik dalam tanah dan kemudahannya untuk dimanfaatkan mikroorganisme ditentukan oleh afinitas jerapan dan reaksinya dalam

tanah. Pelepasan kembali senyawa yang sudah terjerap (desorpsi) merupakan proses yang penting karena desorpsi dapat meningkatkan kecepatan perombakan senyawa pencemar. Hal ini tergantung dari sifat interaksi senyawa dengan tanah. Meskipun senyawa terjerap dalam tanah dengan afinitas yang kuat, namun apabila afinitas desorpsinya juga tinggi maka senyawa menjadi relatif mudah dirombak. Celis *et al.* (2006) menggunakan persamaan $H = N_d/N_s$ untuk mengetahui kemudahan dibenzofuran mengalami desorpsi. Nilai $H \geq 0,53$ menunjukkan bahwa senyawa mudah mengalami desorpsi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada umumnya tanah yang diuji mempunyai nilai $H \geq 0,53$ (Tabel 5). Pada Grumosol, H berkisar antara 1,65 pada G5 sampai dengan 23,40 pada G8. Pada Latosol H berkisar antara 0,31 pada L4 sampai dengan 2,26 pada L8, sedangkan pada Andosol berkisar antara 0,75 pada A4 sampai dengan 1,88 pada A2. Dengan demikian jerapan dibenzofuran dalam Grumosol, Latosol maupun Andosol mudah mengalami desorpsi. Hasil penelitian Celis *et al.* (2006) juga menunjukkan bahwa dibenzofuran termasuk kategori senyawa yang mudah terdesorpsi. Dalam penelitiannya didapatkan bahwa nilai H tanah geluh pasir dan geluh lempung pasir berturut-turut berkisar antara 0,53 sampai dengan 0,83 dan 0,66 sampai dengan 1,66. Hal ini mungkin karena struktur kimiawi dibenzofuran yang relatif sederhana. Namun demikian terjadinya peristiwa jerapan perlu diwaspadai karena semakin lama terpapar senyawa mengalami *aging*, sehingga semakin bersifat persisten.

Peristiwa jerapan mengakibatkan senyawa hidrofobik menjadi terisolasi. Pengisolasian merupakan proses yang tergantung waktu. Pada awal pencemaran, secara cepat senyawa menempati pori makro dan permukaan partikel. Selanjutnya terjadi proses yang lambat melalui difusi sehingga senyawa hidrofobik mencapai pori mikro dan akhirnya pori nano pada wilayah

hidrofobik bahan organik (Bosma *et al.*, 1997; Johnsen *et al.*, 2005). Senyawa menjadi terjebak dan terisolasi. Proses ini mengakibatkan senyawa menjadi tidak tersedia dan semakin lama semakin sulit untuk diekstrak dengan pengekstrak biasa (senyawa mengalami penuaan atau *aging*). Senyawa terperap yang tidak dapat diekstrak kembali disebut dengan residu terikat (Chiou, 1998; Pignatello dan Xing, 1996). Pemaparan senyawa hidrofobik selama 7 hari pada sedimen mengakibatkan residu yang tidak dapat diambil mencapai 30-50% dari jumlah total yang ditambahkan. Xie *et al.* (1997) menunjukkan bahwa senyawa yang terperap dalam asam humat bersifat tidak dapat balik.

KESIMPULAN

1. Grumosol, Latosol dan Andosol mempunyai karakter yang berbeda dalam menyerap dibenzofuran.
2. Grumosol mempunyai afinitas jerapan paling tinggi sedangkan kapasitas tertinggi terdapat dalam Andosol.
3. Berbeda dengan Andosol dan Latosol, kapasitas jerapan Grumosol dipengaruhi oleh kadar bahan organik tanah.
4. Dalam semua contoh tanah yang diuji, karakteristik jerapan tidak dipengaruhi oleh kadar humat maupun fulvat tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahn, Y., Sanseverino, J. and Sayler, G.S. 1999. An Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon-Degrading Bacteria Isolated from Contaminated Soils. *Biodegradation* 10: 149-157.
- Bosert, I.D. and Compeau, G.C. 1995. Clean Up of Petroleum Hydrocarbon Contamination in Soil. Dalam Young, L.C. and Cerniglia, C.E. (Eds.). *Microbial Transformation and Degradation of Toxic Organic Chemicals*. Willey-Liss, New York. Pp.77-121.
- Bosma, T.N.P., Middeldorp, P.J.M., Schraa, J. and Zender, A.J.B. 1997. Mass Transfer Limitation of Biotransformation: Quantifying bioavailability. *Appl. Environ. Microbiol.* 31: 248-252.
- Breedveld, G.D. and Sparrevik, M. 2000. Nutrient-Limited Biodegradation of PAH in Various Soil Strata at a Creosote Contaminated Site. *Biodegradation* 11: 391-399.
- Burgos, W.D., Berry, D.F., Bhandari, A. and Novak, J.T. 1999. Impact of Soil Chemical Interaction on The Bioavailability of Naphthalene and 1-Naphthol. *Wat. Res.* 33: 3789-3795.
- Celis, R., Real, M., Hermosin, M.C. and Comejo, J. 2006. Desorption, Persistence and Leaching of Dibenzofuran in European. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 1310-1317.
- Chiou, C.T., Mc Groddy, S.E. and Kile, D.E. 1998. Partition Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on Soils and Sediments. *Environ. Sci. Technol.* 32: 264-269.
- Guerin, W.F. and Boyd, S.A. 1992. Differential Bioavailability of Soil Sorbed Naphthalene to Two Bacterial Species. *Appl. Environ. Microbiol.* 58: 1142-1150.
- Huy, N.Q. Jin, S., Amada, K., Haruki, M., Hsu, N.B., Hang, D.T., Ha, D.T., Imanaka, T., Morikawa, M. and Kanaya, S. 1999. Characterization of Petroleum-Degrading Bacteria from Oil-Contaminated Sites in Vietnam. *J. Biosci. Bioeng.* 88: 100-102.
- Johnsen, A.R., Wick, L.Y. and Harms, H. 2005. Principles of Microbial PAH-Degradation in Soil. *Environ. Pollut.* 133: 71-84.
- Kilbane II, J.J. 1998. Extractability and Subsequent Biodegradation of PAHs from Contaminated Soil. *Water, Air and Soil Pollut.* 104: 285-304.
- Laird, D.A., Barriuso, E., Dowdy, R.H. and W.C. Koskinen. 1992. Adsorption of

- Atrazine on Smectites. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 62-67.
- Landon, J.R. 1991. *Booker Tropical Soil Manual. A Handbook for Soil Survey and Agriculture Land Evaluation in The Tropics and Subtropics.* Longman Scientific & Technical. New York.
- Lee, J.F., Mortland, M.M., Chiou, C.T., Kile, D.E. and Boyd, S.A. 1990. Adsorption of Benzene, Toluene and Xylene by Two Tetramethylammonium-Smectites Having Different Charge Densities. *Clay Miner.* 38: 113-120.
- Li, H., Sheng, G., Teppen, B.J. Johnston, C.T. and Boyd, S.A. 2003. Sorption and Desorption by Clay Minerals and Humic Acid-Clay Complexes. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 67: 122-131.
- Mahro, B.A., Eschenbach, A., Schaefer, E. and Kastner, M. 1996, Possibilities and Limitation for Microbial Degradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soil. OECD Documents. Wider Application and Diffusion of Bioremediation Technologies. The Amsterdams 1995. Workshop.
- Pignatello, J.J. and Xing, B. 1995. Mechanisms of Slow Sorption of Organic Chemicals to Natural Particles. *Environ. Sci. Technol.* 30: 1-11.
- Puslitanak, 1998. *Penuntun Analisa Kimia Tanah dan Tanaman.* Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Singh, R., Gerritse, R.G. and Aylmore, L.A.G. 1989. Adsorption-Desorption Behavior of Selected Pesticides in Some Western Australian Soils. *Aust J. Soil. Res.* 28: 227-243.
- Sposito, G. 1989. *The Chemistry of Soil.* Oxford University Press. New York.
- Tan, K.H. 1984. The Andosols in Indonesia. Dalam Tan, K.H (Ed.) *Andosols.* Van Nostrand Reinhold Company Inc. New York. Pp. 60-63.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1994. *Deposition of Air Pollutans to The Great Waters.* First report to congress. EPA-453/R-93-055. Office of Air Quality Planning and Standart, Research Triangle Park, NC. <http://www.epa.gov/oar/oagps/gr8water> [20 Juli 2005].
- Weissenfels, W.D., Klewer, H.J. and Langhoff, J. 1992. Adsorption of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs) by Soil Particle: Influence on Biodegradability and Biototoxicity. *Appl. Environ. Biotechnol.* 36: 689-698.
- Xie, H., Guetzloff, T.F. and Rice, J.A. 1997. Fractionation of Pesticide Residues Bound to Humin. *Soil Sci.* 162: 421-429.