

PERUBAHAN KELARUTAN TIMAH HITAM DAN KADMIUM DALAM TANAH ANDISOL DARI GISTING LAMPUNG AKIBAT PENAMBAHAN KAPUR DAN KOMPOS DAUN SINGKONG

Abdul Kadir Salam¹

ABSTRACT

Changes in Lead and Cadmium Solubilities in An Andisol from Gisting Lampung by Lime and Cassava-Leaf Compost Treatments (A.K. Salam): Solubilities of heavy metals in soils are suggested to be affected by changes in soil adsorption capacities. This research evaluated the changes in lead and cadmium solubilities in an Andisol treated with lime and/or cassava-leaf compost. Soil sample was treated with lime at rates ranging from 0 to 10 ton $\text{CaCO}_3 \text{ ha}^{-1}$ and/or cassava-leaf compost at rates ranging from 0 to 20 ton ha^{-1} . A standard solution containing Pb and Cd or industrial waste was also added into soil mixture. After an incubation for 4 weeks at 40% moisture content and room temperature, soluble Pb and Cd and soil pH of soil mixture were determined. Unlike the changes in the soluble Cu and Zn previously reported, the solubility of Pb was found to decrease with lime and slightly decrease with compost additions, particularly at lime rates of $< 5 \text{ ton ha}^{-1}$, in negative correlations with the changes in soil pH. The soluble Cd also decreased with lime but was not affected by compost additions. Addition of industrial waste did not increase soluble Pb and Cd but changed the patterns of lime and/or compost effects. Lime and/or compost treatments tended to increase the soluble Pb and Cd in waste treated soils. Depending on soil treatments, Andisol immobilized 75.5-94.3% Pb and 34.3-48.9% Cd of the added standard.

Keywords: Andisols, Cadmium, Cassava-Leaf Compost, Heavy Metals, Lead, Lime

PENDAHULUAN

Timah hitam (Pb) dan kadmium (Cd) merupakan logam berat pencemar lingkungan yang sedang mendapat perhatian cukup tinggi dari masyarakat ilmiah dalam dua dekade terakhir. Timah hitam diemisikan ke dalam lingkungan sebagian besar melalui pembakaran bensin yang dicampuri Pb alkil (*leaded gasoline*). Oleh karena itu, pencemaran lingkungan oleh Pb umumnya terjadi di wilayah sepanjang jalan raya yang berlalu lintas padat (Markus dan McBratney, 1996; Akhter dan Madany, 1993; Minami dan Araki, 1975). Karena beberapa limbah industri juga mengandung Pb dalam konsentrasi cukup tinggi (Salam dkk., 1996; Yeh dkk., 1996; Wang dkk., 1992), pencemaran lingkungan oleh industri juga dapat terjadi. Sedangkan pencemaran lingkungan oleh Cd lebih banyak diakibatkan

oleh industri modern (Kabata-Pendias dan Pendias, 1992; Alloway, 1990). Beberapa peneliti juga telah menunjukkan bahwa berbagai jenis pupuk dan pestisida merupakan agen pembawa kontaminan Cd dan/atau Pb yang dapat mencemari tanah pertanian dan produk tanaman (Gimeno-Garcia dkk., 1996).

Berkaitan dengan pengaruh negatifnya terhadap makhluk hidup, konsentrasi Pb dan Cd di dalam tanah dan lingkungan harus ditekan ke tingkat yang aman, khususnya di dalam tanah yang telah tercemari oleh logam berat atau yang diperlakukan dengan bahan asing yang mengandung kontaminan logam berat. Beberapa kemungkinan cara telah diterbitkan untuk menekan ketersediaan Pb dan Cd. Misalnya, Ma dkk. (1995; 1994; 1993), Ruby dkk. (1994), dan Rabinowitz (1993) menggunakan Na_2HPO_4 , hidroksiapatit atau batuan fosfat untuk menekan kelarutan Pb di dalam tanah.

¹ Staf pengajar Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lampung Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145

Bahan lain yang juga dapat digunakan untuk menekan kelarutan logam berat adalah kapur dan bahan organik. Seperti telah dilaporkan (Salam dkk., 1997a; Helling dkk., 1964), secara tidak langsung kapur dapat meningkatkan daya jerap padatan tanah terhadap logam berat melalui peningkatan proses dehidrogenisasi gugus fungsional pada padatan tanah. Demikian juga bahan organik, yang merupakan kumpulan senyawa yang mengandung berbagai gugus fungsional, bila dalam keadaan terdehidrogenisasi dapat meningkatkan daya jerap tanah terhadap logam berat (Parfitt dkk., 1995; Rodella dkk., 1995; Alloway, 1990; McGrath dkk., 1988; Helling dkk., 1964).

Selain itu, daya jerap tanah terhadap logam berat juga sangat tergantung pada jenisnya. Salam dkk. (1997a) telah memperlihatkan bahwa daya jerap tanah terhadap logam berat meningkat dengan urutan Ultisol Tanjungan < Oxisol Gedongmeneng < Alfisol Banjaragung. Salam dkk. (1997b) juga melaporkan bahwa tanah Andisol memiliki daya jerap tinggi terhadap logam berat. Namun demikian, Salam dkk. (1997c) melaporkan juga bahwa penambahan kapur dan/atau kompos daun singkong ke dalam tanah ini tidak menurunkan kelarutan Cu dan Zn tetapi justru meningkatkannya. Mereka menduga bahwa fenomena tersebut diakibatkan oleh hancurnya mineral alofan sebagai akibat bergesernya nilai pH yang disebabkan oleh pengapuran dan penambahan kompos daun singkong (Salam dkk., 1997b; 1997c).

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari perubahan kelarutan dan imobilisasi Pb dan Cd di dalam tanah Andisol Gisting akibat perlakuan kapur dan/atau kompos daun singkong.

BAHAN DAN METODE

Rincian metodologi untuk penelitian ini telah dilaporkan sebelumnya (Salam dkk., 1997c). Contoh tanah (Andisol) diambil dari lapisan olah (Horizon A_p) lahan petani di Gisting Kabupaten Tanggamus Lampung. Setelah dikeringudarkan, contoh tanah

dihaluskan dan diaduk rata sebelum digunakan dalam percobaan. Contoh tanah memiliki sifat fisika dan kimia sebagai berikut: pasir 35,6%, debu 22,2%, dan liat 42,2%; pH awal 4,50; KTK $11,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; C-organik 1,54%; N-total 0,237%; nisbah C/N 6,50; dan P-tersedia $1,82 \text{ mg kg}^{-1}$.

Sebanyak 200 gram contoh tanah (setara berat kering oven 105°C) digunakan sebagai satuan percobaan. Percobaan dilakukan dengan 3 faktor perlakuan yang disusun secara faktorial dengan 3 kali ulangan. Ketiga faktor perlakuan tersebut adalah: (1) kapur, (2) kompos daun singkong, dan (3) jenis limbah. Kapur (CaCO_3) diberikan dalam bentuk serbuk dengan empat takaran, masing-masing (dalam ton ha^{-1}): 0 (L-0); 2,5 (L-1); 5,0 (L-2); dan 10 (L-3). Kompos daun singkong juga diberikan dengan 4 takaran, masing-masing (dalam ton ha^{-1}): 0 (C-0), 5 (C-1), 10 (C-2), dan 20 (C-3). Selain perlakuan kontrol (tanpa penambahan limbah), dilakukan juga percobaan dengan penambahan Limbah Model dan Limbah Industri (diperoleh dari Unit Pengelolaan Limbah pabrik sendok logam PT Star Metal Ware di Jakarta). Limbah Model (campuran sederhana dari larutan baku logam berat yang diteliti dengan konsentrasi Pb dan Cd masing-masing 50 dan 25 mg L^{-1}) diberikan dengan takaran cukup untuk meningkatkan kandungan total Pb dan Cd di dalam tanah percobaan masing-masing sebesar 10 dan 5 mg kg^{-1} . Limbah Industri yang digunakan memiliki kandungan Cu dan Zn relatif tinggi namun Pb dan Cd relatif rendah ($0,12 \text{ mg Cd kg}^{-1}$ dan $2,44 \text{ mg Pb kg}^{-1}$) (Salam dkk., 1996) dan diberikan dalam bentuk serbuk dengan takaran 100 ton ha^{-1} .

Setelah dicampur rata, setiap satuan percobaan dimasukkan ke dalam kantong plastik, dibasahi dengan air suling sampai kadar airnya mencapai 40% (v/w), dan kemudian diinkubasikan selama 4 minggu dalam temperatur ruang. Selama inkubasi, setiap satuan percobaan ditutup rapat untuk mengurangi penguapan air. Sifat kimia tanah

ditentukan pada akhir masa inkubasi. Sifat kimia tanah yang diamati meliputi: pH (H₂O 1:2) dan logam-berat larut (Cara DTPA, Baker dan Amacher, 1982) meliputi Pb dan Cd. Analisis logam berat dan pH tanah dilakukan dalam keadaan lembab, namun seluruh perhitungan dilakukan atas dasar berat kering tanah (oven 105°C).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan kelarutan Pb dan Cd dalam tanah Andisol akibat perlakuan kapur CaCO₃ dan/atau kompos daun singkong diperlihatkan pada Gambar 1 dan 2, masing-masing untuk Pb dan Cd. Menurut perhitungan sederhana, penambahan larutan baku seharusnya meningkatkan kelarutan Pb dan Cd di dalam tanah masing-masing sebesar 10 dan 5 mg kg⁻¹ bila tidak terjadi kehilangan akibat penjerapan atau pengendapan. Dengan membandingkan angka ini dengan nilai pada Gambar 1 dan 2 terlihat jelas bahwa tanah Andisol memiliki daya jerap cukup tinggi terhadap Pb dan Cd, dengan mengimobilisasi 75,5-94,3% dari Pb dan 34,3-48,9% dari Cd yang ditambahkan ke dalam tanah (Tabel 1).

Seperti diduga sebelumnya, penambahan kapur dan/atau kompos daun singkong menurunkan kelarutan Pb (Gambar 1). Ini sesuai dengan hipotesis sebelumnya bahwa peningkatan kapasitas jerap tanah terhadap logam berat, akibat meningkatnya pH dan jumlah gugus fungsional asal bahan organik, dapat menurunkan kelarutan logam berat berkaitan dengan semakin besarnya penjerapan. Fenomena ini berbeda dengan perubahan kelarutan Cu dan Zn. Telah dilaporkan sebelumnya bahwa kelarutan Cu dan Zn menurun akibat perlakuan yang sama pada tanah Andisol (Salam dkk., 1997b; 1997c). Bila hipotesis tentang hancurnya mineral alofan akibat pergeseran pH benar (Salam dkk., 1997b; 1997c), maka penurunan Pb tersebut (Gambar 1) jelas bukan diakibatkan oleh proses penjerapan. Kemungkinan yang paling logis adalah

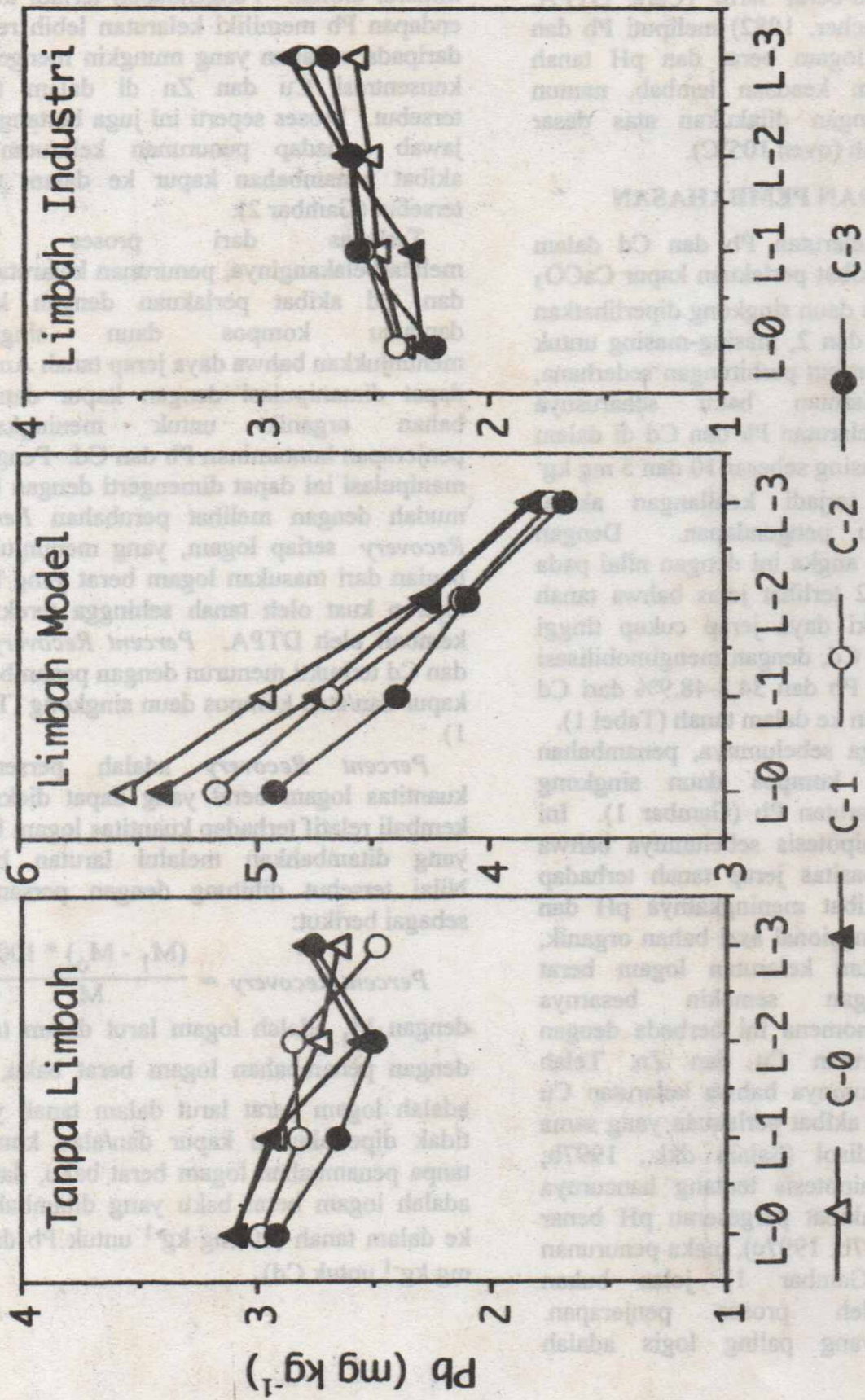
sebagai akibat pengendapan Pb bersama dengan komponen hasil penghancuran kimia mineral alofan. Pengendapan terjadi karena endapan Pb memiliki kelarutan lebih rendah daripada endapan yang mungkin mengontrol konsentrasi Cu dan Zn di dalam tanah tersebut. Proses seperti ini juga bertanggung jawab terhadap penurunan kelarutan Cd akibat penambahan kapur ke dalam tanah tersebut (Gambar 2).

Terlepas dari proses yang melatarbelakanginya, penurunan kelarutan Pb dan Cd akibat perlakuan dengan kapur dan/atau kompos daun singkong menunjukkan bahwa daya jerap tanah Andisol dapat dimanipulasi dengan kapur dan/atau bahan organik untuk meningkatkan penjerapan kontaminan Pb dan Cd. Pengaruh manipulasi ini dapat dimengerti dengan lebih mudah dengan melihat perubahan *Percent Recovery* setiap logam, yang menunjukkan bagian dari masukan logam berat yang tidak dijerap kuat oleh tanah sehingga terekstrak kembali oleh DTPA. *Percent Recovery* Pb dan Cd terbukti menurun dengan penambahan kapur dan/atau kompos daun singkong (Tabel 1).

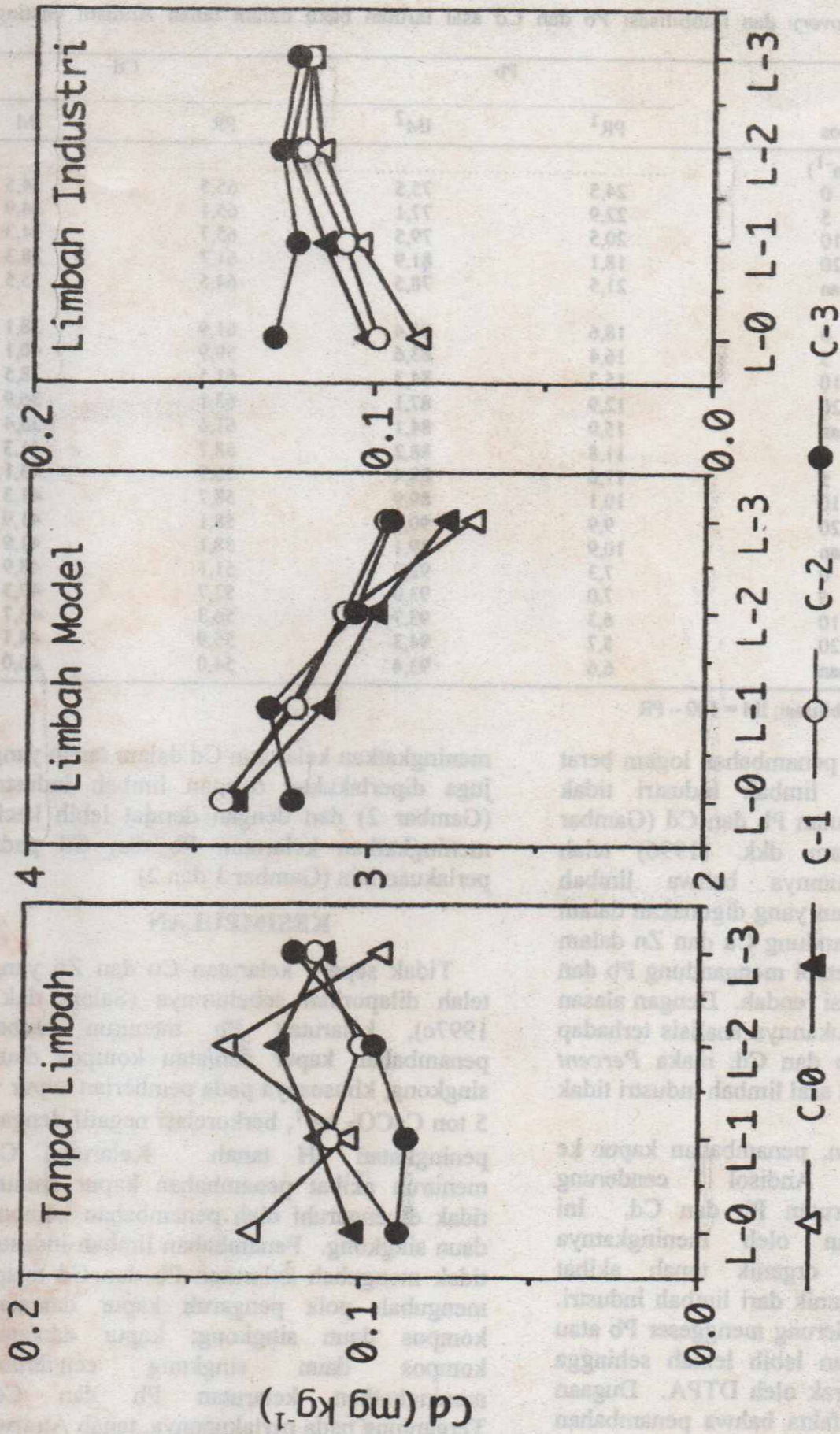
Percent Recovery adalah persentase kuantitas logam berat yang dapat diekstrak kembali relatif terhadap kuantitas logam berat yang ditambahkan melalui larutan baku. Nilai tersebut dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Percent Recovery} = \frac{(M_1 - M_0) * 100}{M}$$

dengan M₁ adalah logam larut dalam tanah dengan penambahan logam berat baku, M₀ adalah logam berat larut dalam tanah yang tidak diperlakukan kapur dan/atau kompos tanpa penambahan logam berat baku, dan M adalah logam berat baku yang ditambahkan ke dalam tanah (10 mg kg⁻¹ untuk Pb dan 5 mg kg⁻¹ untuk Cd).



Gambar 1. Perubahan kelarutan Pb dalam tanah Andisol Gisting akibat perlakuan dengan kapur dan/atau kompos daun singkong (Kapur L-0=0, L-1=2.5, L-2=5.0, dan L-3=10 ton $\text{CaCO}_3 \text{ ha}^{-1}$; Kompos C-0=0, C-1=5, C-2=10, dan C-3=20 ton ha^{-1}).



Gambar 2. Perubahan kelarutan Cd dalam tanah Andisol Gisting akibat perlakuan dengan kapur dan/atau kompos daun singkong (Kapur L-0=0, L-1=2.5, L-2=5.0, dan L-3=10 ton CaCO₃ ha⁻¹; Kompos C-0=0, C-1=5, C-2=10, dan C-3=20 ton ha⁻¹).

Tabel 1. *Percent Recovery* dan imobilisasi Pb dan Cd asal larutan baku dalam tanah Andisol Gisting Lampung.

Kapur (ton ha ⁻¹)	Kompos (ton ha ⁻¹)	Pb		Cd	
		PR ¹	IM ²	PR	IM
0,0	0	24,5	75,5	65,5	34,5
	5	22,9	77,1	65,1	34,9
	10	20,5	79,5	65,7	34,3
	20	18,1	81,9	61,7	38,3
	Rataan	21,5	78,5	64,5	35,5
2,5	0	18,6	81,4	61,9	38,1
	5	16,4	83,6	59,9	40,1
	10	15,7	84,3	61,5	38,5
	20	12,9	87,1	63,1	36,9
	Rataan	15,9	84,1	61,6	38,4
5,0	0	11,8	88,2	58,7	41,3
	5	11,6	88,4	56,9	43,1
	10	10,1	89,9	58,7	41,3
	20	9,9	90,1	58,1	41,9
	Rataan	10,9	89,1	58,1	41,9
10,0	0	7,3	92,7	51,1	48,9
	5	7,0	93,0	52,7	47,3
	10	6,3	93,7	56,3	43,7
	20	5,7	94,3	55,9	44,1
	Rataan	6,6	93,4	54,0	46,0

¹Percent Recovery; ²imobilisasi; IM = 100 - PR

Berbeda dengan penambahan logam berat baku, penambahan limbah industri tidak meningkatkan kelarutan Pb dan Cd (Gambar 1 dan 2). Salam dkk. (1996) telah melaporkan sebelumnya bahwa limbah industri sendok logam yang digunakan dalam penelitian ini mengandung Cu dan Zn dalam konsentrasi tinggi tetapi mengandung Pb dan Cd dalam konsentrasi rendah. Dengan alasan ini, dan tidak dilakukannya analisis terhadap kandungan total Pb dan Cd, maka *Percent Recovery* Pb dan Cd asal limbah industri tidak dilakukan.

Namun demikian, penambahan kapur ke dalam tanah Andisol cenderung meningkatkan kelarutan Pb dan Cd. Ini diduga diakibatkan oleh meningkatnya kandungan bahan organik tanah akibat masukan bahan organik dari limbah industri. Bahan organik cenderung menggeser Pb atau Cd ke dalam ikatan lebih lemah sehingga lebih mudah diekstrak oleh DTPA. Dugaan ini didukung oleh fakta bahwa penambahan kompos daun singkong cenderung

meningkatkan kelarutan Cd dalam tanah yang juga diperlakukan dengan limbah industri (Gambar 2) dan dengan derajat lebih kecil meningkatkan kelarutan Pb dan Cd pada perlakuan lain (Gambar 1 dan 2).

KESIMPULAN

Tidak seperti kelarutan Cu dan Zn yang telah dilaporkan sebelumnya (Salam dkk., 1997c), kelarutan Pb menurun akibat penambahan kapur dan/atau kompos daun singkong, khususnya pada pemberian kapur < 5 ton CaCO₃ ha⁻¹, berkorelasi negatif dengan peningkatan pH tanah. Kelarutan Cd menurun akibat penambahan kapur namun tidak dipengaruhi oleh penambahan kompos daun singkong. Penambahan limbah industri tidak mengubah kelarutan Pb dan Cd tetapi mengubah pola pengaruh kapur dan/atau kompos daun singkong; kapur dan/atau kompos daun singkong cenderung meningkatkan kelarutan Pb dan Cd. Tergantung pada perlakuannya, tanah Andisol

mengimobilisasi 75,5-94,3% Pb dan 34,3-48,9% Cd asal larutan baku

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dibiayai oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (Dirjen Dikti) melalui Program Hibah Bersaing (HB IV/2) Tahun Anggaran 1996/1997. Limbah industri diperoleh melalui Kantor Pengkajian Perkotaan dan Lingkungan (KPPL) Daerah Khusus Ibukota (DKI) Jakarta. Atas dukungan tersebut diucapkan terimakasih sebesarnya. Kepada Dr. Nanik Sriyani (Jurusan Budidaya Pertanian Universitas Lampung), yang telah sangat membantu pengadaan limbah industri untuk penelitian ini, juga disampaikan terimakasih. Terimakasih sebesarnya juga disampaikan kepada Alia Septiana, S.P. dan Sinawung, S.P. (saat ini bekerja di Bank Danamon Lampung) dan Helmi D. Putera, S.P., yang telah turut membantu penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhter, M.S. dan I. M. Madany. 1992. Heavy metals in street and house dust in Bahrain. *Water Air Soil Pollut.*, 66:111-119.
- Alloway, B.J. 1990. Cadmium. Hlm.100-124. *Dalam* B.J. Alloway (ed.). *Heavy Metals in Soils*. Blackie, London.
- Baker, D.E. dan M.C. Amacher. 1982. Nickel, copper, zinc, and cadmium. Hlm.323-336. *Dalam* A.L. Page, R.H. Miller, dan D.R. Keeney (ed.). *Methods of Soil Analysis Part 2 Chemical and Microbiological Properties*. Ed. ke-2. SSSA Inc., Madison.
- Gimeno-Garcia, E., V. Andreu, dan R. Boluda. 1996. Heavy metals incidence in the application of inorganic fertilizers and pesticides to rice farming soils. *Environ. pollut.*, 92:19-25.
- Helling, C. S., C. Chesters, dan R. B. Corey. 1964. Contribution of organic matter and clay to soil cation exchange capacity as affected by the pH of the saturating solution. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 28:517-520.
- Kabata-Pendias, A. dan H. Pendias. 1992. *Trace Elements in Soils and Plants*. Ed. ke-2. CRC Press, London.
- Ma, Q. Y., S. J. Traina, dan T. J. Logan. 1993. *In situ* lead immobilization by apatite. *Environ. Sci. Technol.*, 27:1803-1810.
- Ma, Q. Y., S.J. Traina, T.J. Logan, dan J.A. Ryan. 1994. Effects of aqueous Al, Cd, Cu, Fe(II), Ni, and Zn on Pb immobilization by hydroxyapatite. *Environ. Sci. Technol.*, 28:1219-1228.
- Ma, Q. Y., T. J. Logan, dan S. J. Traina. 1995. Lead immobilization from aqueous solutions and contaminated soils using phosphate rocks. *Environ. Sci. Technol.* 29:1118-1126.
- Markus, J. A. dan A. B. McBratney. 1996. An urban soil study: heavy metals in glebe, Australia. *Aust. J. Soil Res.*, 34:453-465.
- McGrath, S. P., J. R. Sanders, dan M. H. Shalaby. 1988. The effects of soil organic matter levels on soil solution concentrations and extractabilities of manganese, zinc, and copper. *Geoderma*, 42:177-188.
- Minami, K. dan K. Araki. 1975. Distribution of trace elements in arable soil affected by automobile exhaust. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 21:185-188.
- Parfitt, R. L., D. J. Giltrap, dan J. S. Whitton. 1995. Contribution of organic matter and clay minerals to the cation exchange capacity of soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 26:1343-1355.
- Rabinowitz, M. B. 1993. Modifying soil lead bioavailability by phosphate addition. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 51:438-444.
- Ruby, M.V., A. Davis, dan A. Nicholson. 1994. *In situ* formation of lead phosphates in soils as a method to immobilize lead. *Environ. Sci. Technol.*, 28:646-654.
- Rodella, A. A., K. R. Fischer, dan J. C. Alcarde. 1995. Cation exchange capacity of an acid soil as influenced by different sources of organic matter. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 26:2961-2967.
- Salam, A.K., S. Djuniwati, J.T. Harahap, dan Suwanto. 1996. Imobilisasi logam berat asal limbah industri di dalam tanah tropika: 1. Sifat kimia limbah industri. *J. Ilmiah Ilmu Pert.*, 4(1):61-67.
- Salam, A.K., S. Djuniwati, Sarno, N. Sriyani, H. Novpriansyah, A. Septiana, dan H.D. Putera. 1997a. The DTPA-extractable heavy metals in tropical soils treated with lime materials. *Indon. J. Tropic. Agric.* (*Dalam Percetakan*).
- Salam, A.K., S. Djuniwati, Sarno, N. Sriyani, H. Novpriansyah, A. Septiana, dan D. P.

Salam, A.K.

Widiarini. 1997b. The immobilization of heavy metals by a tropical Andepts treated with lime and organic composts. *Indon. J. Tropic. Agric. (Dalam Percetakan)*

Salam, A.K., S. Djuniwati, Sarno, dan J.T. Harahap. 1997c. Kapur dan kompos daun singkong meningkatkan kelarutan tembaga dan seng asal limbah industri di tanah Andisol dari Gisting Lampung. *J. Tanah Trop.*, 2(4):123-131.

Wang, J. D., C. S. Jang, Y. H. Hwang, dan Z. S. Chen. 1992. Lead contamination around a kindergarten near a battery recycling plant. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 49:23-30.

Yeh, C.-Y., H.-Y. Chiou, R.-Y. Chen, K.-H. Yeh, W.-L. Jeng, dan B.-C. Han. 1996. Monitoring lead pollution near a storage battery recycling plant in Taiwan Republic of China. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 30:227-234.

DAFTAR PUSTAKA

Adriani, S. dan I. M. Mulyanti. 1992. Heavy metals in street and house dust in Bahrain. *Water Air Soil Pollut.* 66:11-19.

Alway, G. I. 1990. *Cadmium*. Hal:100-134. *Trace Elements in Soils and Plants*. Ed. M. J. Martin. CRC Press, Boca Raton.

Baker, D.E. dan M.C. Brooks. 1989. *Plant Analysis*. Ed. 2. CRC Press, Boca Raton.

Dolan, A.J., Page, R.H., Miller, dan B.R. 1991. *Methods of Soil Analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties*. Ed. 2. SSSA Inc. Madison.

Gilman-Garcia, E. V., Andrea, dan R. Bolero. 1992. Heavy metal residues in the application of inorganic fertilizers and pesticides to rice farming soils. *Environ. Toxicol.* 52:19-25.

Hellier, C. S. C. Christie dan R. B. Corey. 1964. Contribution of organic matter and clay to cation exchange capacity as affected by the pH of the extracting solution. *Soil Sci. Soc. Amer.* 28:215-220.

Koehler, F. dan H. Fodor. 1992. *Trace Elements in Soils and Plants*. Ed. 2. CRC Press, London.

Martin, J. A. dan A. B. Mather. 1995. An urban soil with heavy metals in glass. *Australian J. Soil Res.* 34:457-462.

McLellan, S. F., I. E. Sanders, dan M. H. Saha. 1997. The effects of soil organic matter levels on soil cation concentrations and extractability of inorganic zinc, lead, and copper. *Geoderma* 72:177-188.

Milnes, K. dan K. A. West. 1977. Distribution of trace elements in acidic soil affected by automobile exhaust. *Soil Sci Plant Nutr.* 21:187-188.

Park, R. J., D. J. Gilman, dan I. E. Wilson. 1992. Contribution of organic matter and clay minerals to the cation exchange capacity of soils. *Commun. Soil Sci Plant Anal.* 26:1343-1352.

Rabinowitz, M. B. 1993. Modeling soil lead bioavailability by phosphate addition. *Soil Environ. Contam. Toxicol.* 51:438-443.

Ruby, M.V., A. Davis, dan A. Nicholson. 1994. In situ formation of lead phosphate in soils: a method to immobilize lead. *Environ. Sci. Technol.* 28:646-654.

Rodriguez, A. K. R. Fisher, dan I. C. Alvarez. 1992. Cation exchange capacity of an acid soil as influenced by different sources of organic matter. *Commun. Soil Sci Plant Anal.* 26:2961-2967.

Salam, A.K., S. Djuniwati, I.T. Harahap, dan Suwanto. 1998. Imobilitas logam berat dan limbah industri di dalam tanah tropis. I. Sifat kimia limbah industri. *J. Tanah Trop.* 3(1):61-67.

Salam, A.K., S. Djuniwati, Sarno, N. Srijanti, H. Harahap, dan H.O. Pratiwi. 1997a. The DTPA-extractable heavy metals in tropical soils treated with lime and organic compost. *Indon. J. Tropic. Agric. (Dalam Percetakan)*

Salam, A.K., S. Djuniwati, Sarno, N. Srijanti, H. Harahap, dan H.O. Pratiwi. 1997b. The effect of lime and organic compost on the availability of heavy metals in tropical soils. *Indon. J. Tropic. Agric. (Dalam Percetakan)*