

PERUBAHAN FRAKSI LABIL TEMBAGA ASAL LIMBAH INDUSTRI DALAM BEBERAPA JENIS TANAH TROPIKA AKIBAT PERLAKUAN KAPUR DAN KOMPOS DAUN SINGKONG

Abdul Kadir Salam¹, Catri Marintias², Rusdianto², Sunarto²,
Sri Djuniwati¹, Hery Novpriansyah¹, J. Tagor Harahap³

ABSTRACT

Changes in Soil Labile Copper of Industrial Waste Origin in Several Tropical Soils Treated with Lime and Cassava-Leaf Compost (A.K. Salam, C. Marintias, Rusdianto, Sunarto, S. Djuniwati, H. Novpriansyah, and J.T. Harahap): Soil labile fractions of heavy metals determine heavy metal bioavailabilities and are suggested to be affected by changes in soil pH and adsorption capacity. Changes in soil labile Cu of tropical soils were evaluated under lime and/or cassava-leaf compost treatments in a laboratory experiment. Loaded with industrial waste containing Cu at 0 to 40 ton dry waste ha⁻¹, soil samples of Gedongmeneng and Banjaragung (Lampung) and Cihea (Cianjur, West Java) were also treated with lime at 0 and 5 ton CaCO₃ ha⁻¹ and/or cassava-leaf compost at 0 and 5 ton ha⁻¹. Soil analyses were conducted after soil mixtures were incubated at 40% moisture contents and room temperature for 4 weeks. Industrial waste were found to increase Cu contents in all soils. As reported previously, lime at 5 ton CaCO₃ ha⁻¹ decreased the DTPA extractable Cu by 11.6-55.0%, in a negative correlation with the increase in soil pH. Lime treatment also decreased exchangeable Cu by 26.1-86.7% but cassava-leaf compost treatment reduced the magnitude in lime effect. Lime showed no consistent effect on soluble Cu. In general soil of Banjaragung showed a greater increase in adsorption capacity with liming, followed by soils of Gedongmeneng and Cihea.

Keywords: Cassava-Leaf Compost, Copper, Lime, Metal Labile Fractions, Tropical Soils

PENDAHULUAN

Salah satu faktor penting yang berkaitan dengan bahaya logam berat terhadap makhluk hidup adalah fraksi labil logam berat dan beberapa faktor yang mempengaruhinya di dalam sistem tanah. Fraksi labil logam berat adalah logam berat yang diikat oleh padatan tanah dengan energi rendah dan/atau yang mengendap dengan kelarutan relatif tinggi sehingga mudah dibebaskan. Karena mudah dibebaskan, bagian dari logam berat tanah ini relatif tersedia bagi tanaman dan/atau mudah tercuci di dalam tubuh tanah. Karena serapan logam berat oleh akar tanaman atau pemanfaatan air bawah tanah untuk air minum dapat memudahkan masuknya logam berat ke dalam jaring makanan, dinamika fraksi labil logam berat di dalam sistem tanah perlu

dipelajari. Pengetahuan ini dapat digunakan sebagai dasar pengelolaan logam berat di dalam sistem tanah, baik dalam sistem tanah yang telah tercemari oleh logam berat atau dalam sistem tanah yang digunakan sebagai imobilisator logam berat.

Reaksi tanah (pH) merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi fraksi labil logam berat di dalam tanah. Seperti telah dilaporkan sebelumnya konsentrasi fraksi labil logam berat menurun dengan meningkatnya pH tanah (Salam dkk., 1997a; 1997b; 1997c). Penurunan ini disebabkan oleh meningkatnya daya jerap tanah sebagai akibat dehidrogenisasi berbagai gugus fungsional di dalam tanah yang dirangsang oleh semakin tingginya aktivitas ion OH⁻. Beberapa penelitian juga mengungkapkan

¹ Staf pengajar dan ² alumnus Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lampung Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145; ³ Staf peneliti Kantor Pengkajian Perkotaan dan Lingkungan DKI Jakarta J. Tanah Trop. No 5:11-20

Salam, A.K., dkk.

bahwa hal ini dapat pula disebabkan oleh kemungkinan terjadinya pengendapan logam berat pada pH tinggi (Brummer dkk., 1983; Singh dan Sekhon, 1977), khususnya bila konsentrasi logam berat di dalam tanah relatif tinggi.

Karena fraksi labil logam berat berfungsi sebagai penyangga logam berat larut, perubahan konsentrasi fraksi labil logam berat di dalam tanah umumnya berkorelasi positif dengan konsentrasi logam berat larut di dalam air tanah, yang umumnya juga menurun dengan meningkatnya pH tanah. Sejalan dengan teori tersebut, baru-baru ini Salam dan Helmke (1997) memperlihatkan bahwa aktivitas ion bebas Cu^{2+} dan Cd^{2+} di dalam air tanah yang diperlakukan dengan limbah industri berbanding terbalik dengan nilai pH tanah; sesuai dengan beberapa laporan sebelumnya (El-Falaky dkk., 1991; Workman dan Lindsay, 1990). Telah diperlihatkan sebelumnya bahwa aktivitas ion bebas logam berat berkorelasi erat dengan penumpukan logam berat di dalam tanaman (Checkai dkk., 1987a; 1987b).

Karena bahan organik umumnya memiliki berbagai jenis gugus fungsional (Parfitt dkk., 1995; Rodella dkk., 1995; Alloway, 1990; Helling dkk., 1964), penambahan bahan organik juga dapat meningkatkan daya jerap tanah dan menurunkan konsentrasi fraksi labil logam berat di dalam tanah. Telah secara jelas diperlihatkan sebelumnya bahwa kandungan bahan organik berkorelasi negatif dengan fraksi labil logam berat di dalam tanah (McGrath dkk., 1988). Salam dkk. (1997b) bahkan menemukan bahwa kapur dan kompos daun singkong berinteraksi dalam menurunkan kelarutan Cu, Cd, dan Zn di dalam tiga jenis tanah tropika yang diperlakukan dengan larutan baku logam berat.

Data berkaitan dengan perilaku fraksi labil logam berat akibat perubahan faktor yang mempengaruhinya (seperti pH dan kandungan bahan organik tanah) tidak dapat ditemukan dalam kepustakaan terbaru, khususnya untuk tanah tropika Indonesia. Pemanfaatan kapur

dan kompos bahan organik untuk mengubah fraksi labil logam berat di dalam tanah juga belum pernah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari perubahan fraksi labil tembaga (Cu) asal limbah industri dalam tiga jenis tanah tropika yang juga diperlakukan dengan kapur dan/ atau kompos daun singkong.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada tahun 1997. Contoh tanah diambil dari horizon A_p (0-30 cm) di Gedongmeneng, Banjaragung (keduanya di Lampung), dan Cihea, Cianjur, Jawa Barat. Untuk percobaan, contoh tanah dikeringudarkan, dihaluskan, diayak tembus diameter 2 mm, dan diaduk rata. Beberapa sifat fisika dan kimia tanah disajikan pada Tabel 1.

Sebanyak 200 g contoh tanah (setara berat kering oven 105°C) digunakan sebagai satuan percobaan. Percobaan disusun secara faktorial dengan 3 faktor perlakuan: kapur, kompos daun singkong, dan limbah industri sendok logam. Kapur dalam bentuk serbuk CaCO_3 diberikan pada takaran (dalam ton ha^{-1}): 0 (L-0) dan 5 (L-1); kompos daun singkong dalam bentuk serbuk dengan 2 takaran (dalam ton ha^{-1}): 0 (C-0) dan 5 (C-1); dan limbah industri dalam bentuk serbuk dengan 3 takaran (dalam ton ha^{-1}): 0 (W-1), 20 (W-2), dan 40 (W-3). Limbah industri diperoleh dari unit pengelolaan limbah (UPL) pabrik sendok logam milik PT Star Metal Wares Jakarta; diambil oleh petugas dari Kantor Pengkajian Perkotaan dan Lingkungan (KPPL) DKI Jakarta. Limbah tersebut memiliki pH 7,30, kandungan Cu 754 mg kg^{-1} , kandungan Zn $44,5 \text{ mg kg}^{-1}$, dan tekstur liat. Seluruh perlakuan diulang 3 kali.

Contoh tanah dan bahan perlakuan dicampur rata, kemudian diinkubasikan dalam kantong plastik pada kadar air 40% (v/w) dalam temperatur ruang selama 4 minggu.

Tembaga tersedia, Cu dapat dipertukarkan (Cu-dd), Cu-larut, dan pH tanah ditentukan setelah masa inkubasi selesai. Ketersediaan Cu ditentukan dengan metode DTPA (Baker dan Amacher, 1982); Cu-dd dengan 2 N CaCl₂, Cu-larut dengan air, dan pH tanah dengan elektrode pH. Cu-DTPA ditetapkan dengan *flame* AAS; sedangkan Cu-dd dan Cu-larut dengan *graphite furnace* AAS karena konsentrasinya relatif rendah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fraksi labil logam berat di dalam tanah mencakup logam berat yang diikat secara lemah oleh padatan tanah dan/atau yang mengendap dengan kelarutan relatif tinggi. Fraksi labil logam berat tanah yang berkaitan dengan serapan oleh akar tanaman adalah logam berat tersedia, yang dapat diekstrak dengan DTPA. Sebagian dari fraksi labil ini berada terikat pada kompleks jerapan. Logam berat ini dapat dipertukarkan dengan kation lain; oleh karena itu fraksi logam berat ini disebut logam berat dapat dipertukarkan, yang dapat diekstrak dengan CaCl₂. Fraksi labil logam berat biasanya berkaitan dengan atau menyangga logam berat larut di dalam air tanah, yang dapat diekstrak dengan air.

Ketiga fraksi logam berat tersebut di atas berada dalam kesetimbangan dinamik sehingga seluruhnya akan berubah bila terdapat gangguan kesetimbangan dalam sistem tanah. Perubahan fraksi labil Cu asal

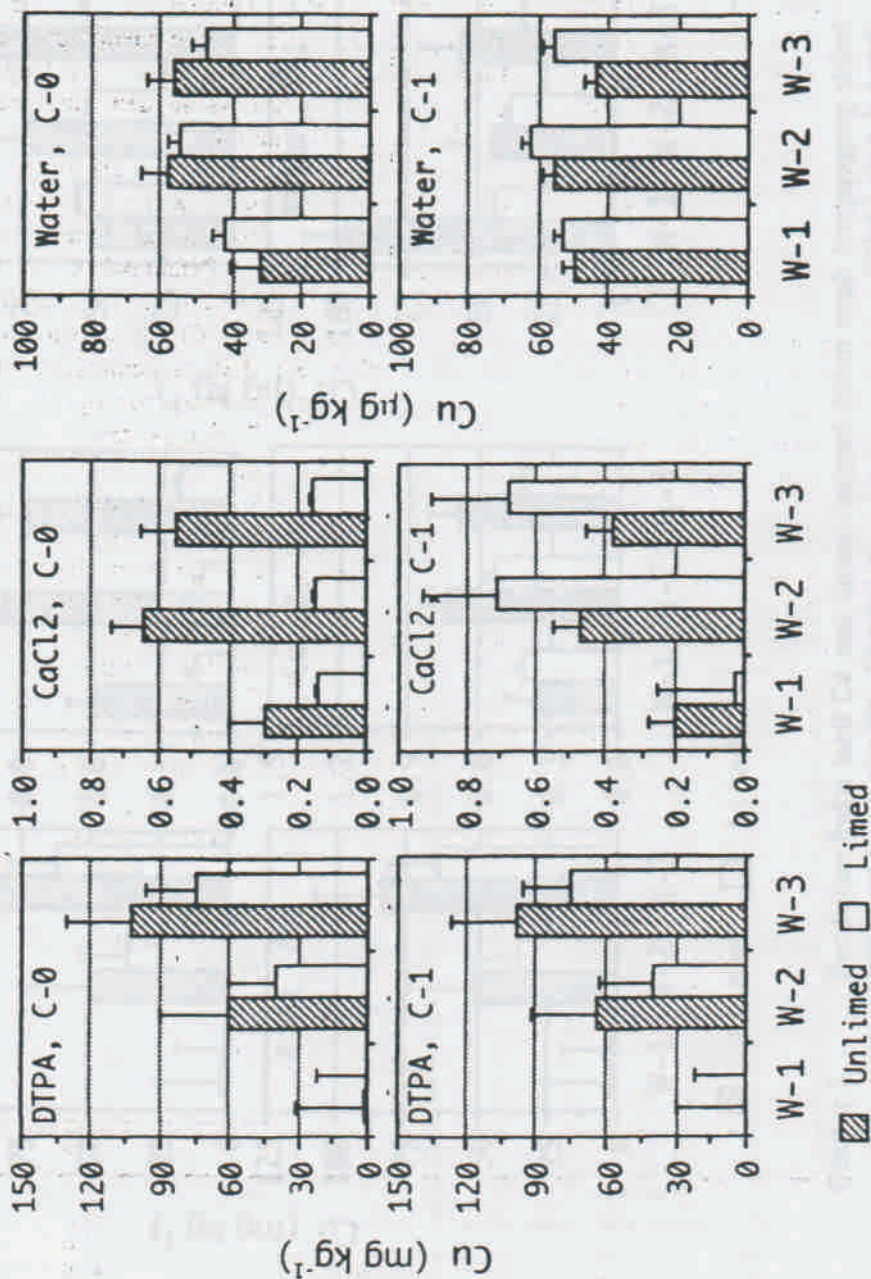
limbah industri akibat perlakuan kapur CaCO₃ dan/atau kompos daun singkong diperlihatkan pada Gambar 1, 2, dan 3, masing-masing untuk tanah Gedongmeneng, Banjaragung, dan Cihea; sedangkan perubahan pH akibat perlakuan yang sama disajikan pada Gambar 4.

Sesuai dengan hubungan di atas, Cu-tersedia dalam tanah jauh lebih tinggi daripada Cu-dd; dan Cu-dd lebih tinggi daripada Cu-larut. Penambahan limbah industri sendok logam terlihat meningkatkan konsentrasi fraksi labil Cu di dalam tanah, namun terlihat jelas bahwa peningkatan Cu-tersedia lebih tinggi daripada peningkatan Cu-dd dan Cu-larut. Tembaga-tersedia dalam tanah yang diperlakukan limbah industri sekitar 2 order lebih besar daripada Cu-dd dan 3 order lebih tinggi daripada Cu-larut. Akibatnya, nisbah Cu-dd/Cu-tersedia dalam tanah yang diperlakukan dengan limbah industri tersebut relatif lebih rendah daripada nilainya dalam tanah kontrol. Ini menunjukkan bahwa sebagian besar Cu asal limbah industri tersebut mengendap atau diikat oleh kompleks jerapan dengan energi lebih tinggi.

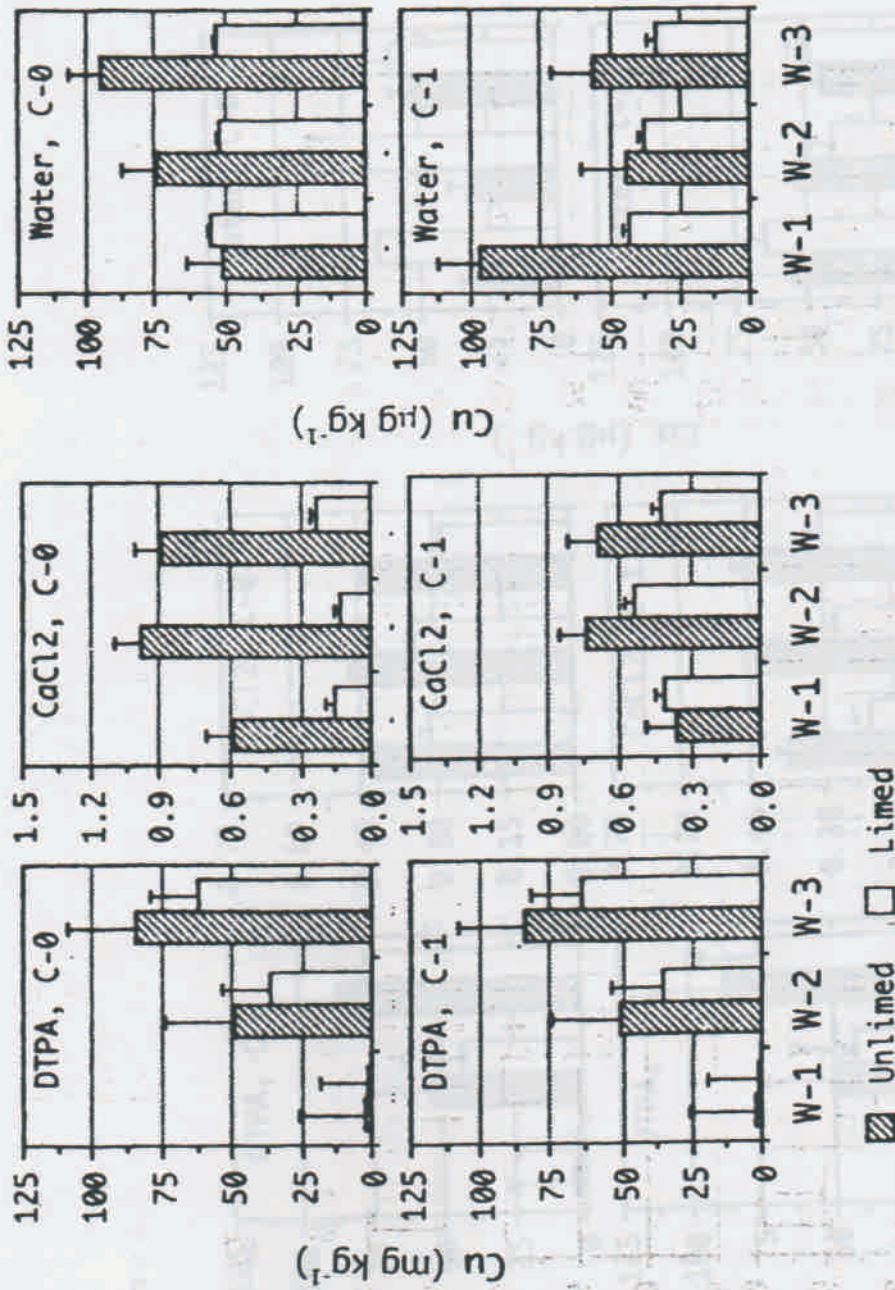
Kecuali Cu-larut dalam tanah Cihea dan Gedongmeneng, penambahan kapur sebesar 5 ton ha⁻¹ secara ajeg menurunkan konsentrasi fraksi labil Cu dan Cu-larut dalam ketiga jenis tanah percobaan (Gambar 1, 2, dan 3),

Tabel 1. Beberapa sifat fisika dan kimia tanah percobaan.

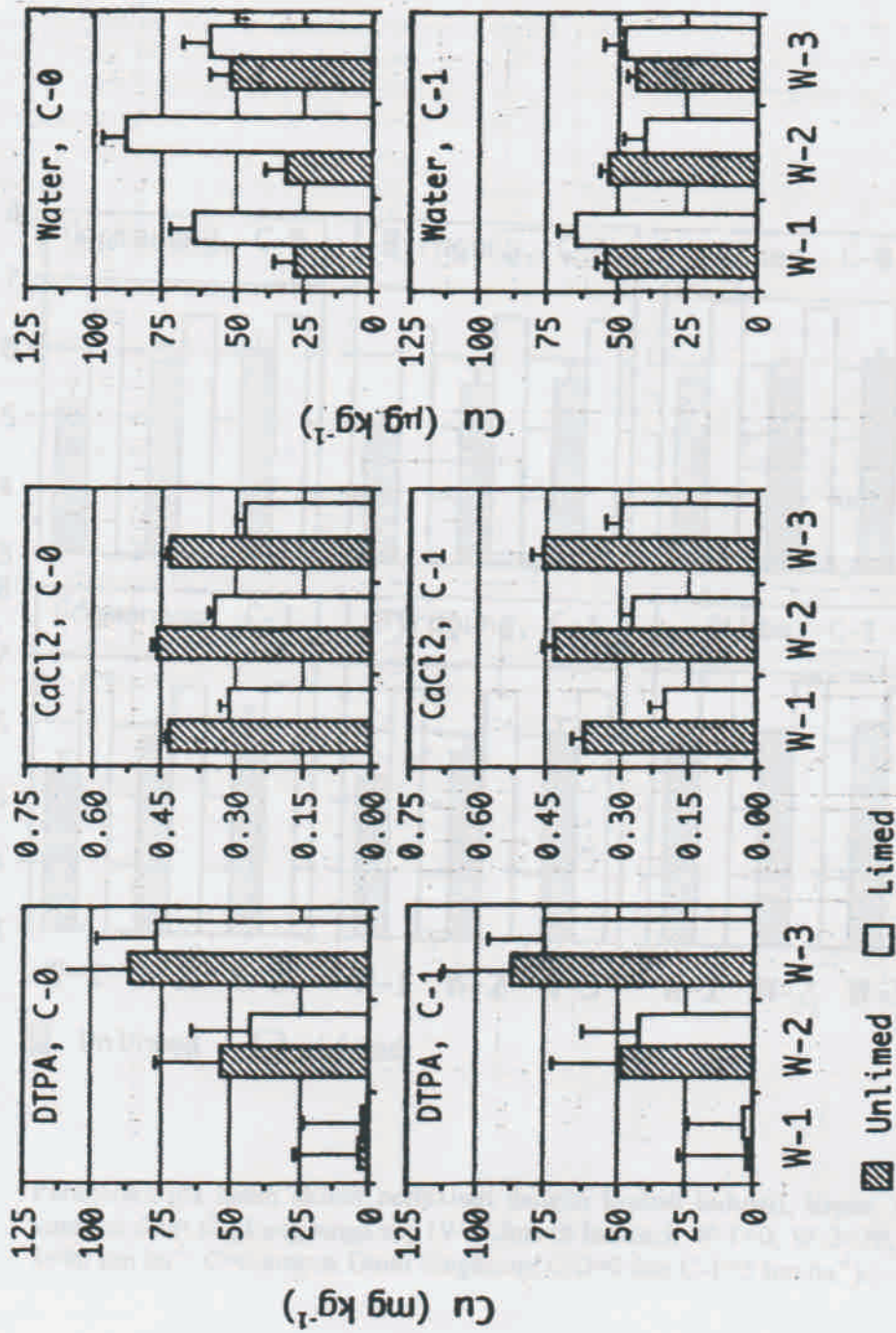
Sifat Tanah	Gedongmeneng	Banjaragung	Cihea
Tekstur (%)			
Pasir	45,6	22,0	21,2
Debu	19,6	21,2	31,0
Liat	34,8	56,8	47,8
pH (H ₂ O 1:2,5)	5,25	5,13	6,10
KTK (cmol _c kg ⁻¹)	5,10	7,34	29,00
C-Organik (%)	2,06	1,84	2,34
N-Total (%)	0,13	0,17	0,13
P-Tersedia (mg kg ⁻¹)	2,50	15,20	2,70
Cu-Tersedia (mg kg ⁻¹)	3,75	2,57	7,43
Zn-Tersedia (mg kg ⁻¹)	3,39	8,90	15,7



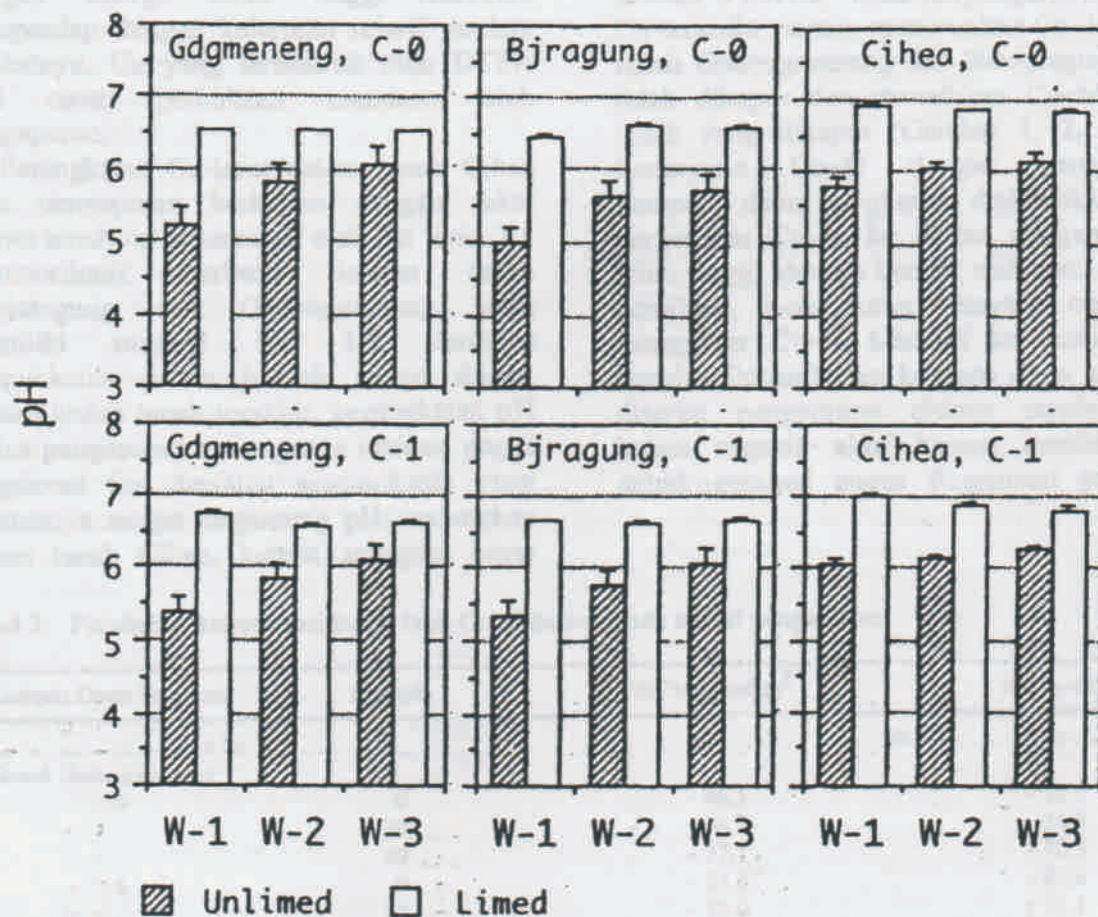
Gambar 1. Perubahan fraksi labil Cu asal limbah industri dalam tanah Gedongmeneng akibat perlakuan kapur dan/atau kompos daun singkong (W=Limbah Industri: W-1=0, W-2=20, dan W-3=40 ton ha⁻¹; C=Kompos Daun Singkong: C-0=0 dan C-1=5 ton ha⁻¹).



Gambar 2. Perubahan fraksi labil Cu asal limbah industri dalam tanah Banjaragung akibat perlakuan kapur dan/atau kompos daun singkong singkong (W=Limbah Industri: W-1=0, W-2=20, dan W-3=40 ton ha⁻¹; C=Kompos Daun Singkong: C-0=0 dan C-1=5 ton ha⁻¹).



Gambar 3. Perubahan fraksi labil Cu asal limbah industri dalam tanah Cihena akibat perlakuan kapur dan/atau kompos daun singkong singkong (W=Limbah Industri: W-1=0, W-2=20, dan W-3=40 ton ha⁻¹; C=Kompos Daun Singkong: C-0=0 dan C-1=5 ton.ha⁻¹).



Gambar 4. Perubahan pH tanah akibat perlakuan dengan limbah industri, kapur, dan/atau kompos daun singkong singkong (W=Limbah Industri: W-1=0, W-2=20, dan W-3=40 ton ha⁻¹; C=Kompos Daun Singkong: C-0=0 dan C-1=5 ton ha⁻¹).

Salam, A.K., dkk

berkorelasi negatif dengan peningkatan pH tanah (Gambar 4). Perubahan Cu-tersedia dan Cu-dd di dalam tanah akibat pengapuran disajikan pada Tabel 2. Karena Cu-dd juga menurun akibat penambahan kapur, maka jelas bahwa masukan Cu asal limbah industri sebagian besar diikat oleh kompleks jerapan dengan energi lebih tinggi dan/atau mengendap dengan kelarutan relatif rendah. Akibatnya, Cu yang terekstrak oleh DTPA dari tanah percobaan menurun oleh pengapuran.

Peningkatan Cu-larut dalam tanah Cihea oleh pengapuran berkaitan dengan fakta bahwa tanah ini didominasi oleh liat jenis 2:1 monmorilonit, berbeda dengan tanah Banjaragung dan Gedongmeneng yang memiliki mineral liat 1:1 dan/atau sesquioksida dalam jumlah relatif tinggi. Dalam kedua tanah terakhir, peningkatan pH akibat pengapuran merangsang ionisasi gugus fungsional liat dan/atau sesquioksida yang muatannya sangat tergantung pH; sedangkan dalam tanah Cihea, karena sebagian besar

muatan liatnya tidak tergantung pH, peningkatan pH akan merangsang ionisasi gugus fungsional bahan organik larut, yang kemudian mengikat Cu. Akibatnya Cu-larut yang terukur dalam air tanah ini lebih tinggi (Gambar 3).

Penambahan kompos daun singkong sebesar 5 ton ha⁻¹ tidak berpengaruh terhadap Cu-tersedia, namun menurunkan Cu-dd dalam tanah Gedongmeneng dan Banjaragung yang tidak dikapur dan menaikkan Cu-dd dalam tanah yang dikapur (Gambar 1, 2, dan 3). Penurunan Cu-dd dengan penambahan kompos daun singkong diakibatkan oleh pergeseran Cu-dd ke ikatan dengan energi lebih tinggi atau ke bentuk endapan. Namun demikian, pengapuran ternyata cenderung menggeser Cu-dd kembali ke ikatan lebih lemah. Penambahan kompos daun singkong disertai pengapuran diduga meningkatkan bahan organik aktif karena meningkatnya dehidrogenisasi gugus fungsional pada pH

Tabel 2. Perubahan konsentrasi fraksi labil Cu di dalam tanah akibat pengapuran.

Kompos Daun Singkong ton ha ⁻¹	Limbah	$\Delta(\text{Cu-tersedia})^1$%	$\Delta(\text{Cu-dd})$
<i>Tanah Gedongmeneng</i>			
0	0	-46,1	-53,3
	20	-34,7	-76,6
	40	-27,1	-70,9
5	0	-24,6	-85,0
	20	-36,0	+51,1
	40	-23,9	+83,8
<i>Tanah Banjaragung</i>			
0	0	-55,0	-72,4
	20	-26,8	-86,7
	40	-27,2	-74,2
5	0	-52,4	+13,9
	20	-29,7	-28,4
	40	-24,5	-37,7
<i>Tanah Cihea</i>			
0	0	-11,7	-27,9
	20	-19,8	-26,1
	40	-11,6	-34,9
5	0	+7,09	-45,9
	20	-12,5	-37,2
	40	-13,7	-34,8

¹ $\Delta(\text{Cu})$ adalah $\text{Cu}(\text{Dengan Kapur}) - \text{Cu}(\text{Tanpa Kapur})$

tinggi. Proses ini mengakibatkan Cu yang terikat pada bahan organik meningkat. Ikatan ini lebih lemah daripada ikatan Cu-liat, sehingga lebih mudah diputuskan. Peningkatan Cu-dd akibat pengapuran dan penambahan bahan organik dalam tanah Gedongmeneng lebih tinggi karena ikatan liat-Cu dalam tanah ini lebih lemah daripada ikatan liat-Cu dalam tanah Banjaragung. Tanah Banjaragung diduga termasuk Alfisol, yang juga mengandung mineral liat 2:1 vermiculit.

Kecuali dalam tanah Gedongmeneng, penambahan kompos daun singkong secara umum menurunkan Cu-larut dalam air tanah (Gambar 1, 2, dan 3). Tanah Banjaragung menunjukkan penurunan Cu-larut terbesar akibat penambahan kompos daun singkong, berkaitan dengan penurunan Cu-dd akibat penambahan kompos. Tembaga-larut dalam tanah Cihea yang dikapur juga menurun drastis akibat penambahan kompos daun singkong, juga berkaitan dengan penurunan Cu-dd (Gambar 3). Tidak berubahnya Cu-larut dalam tanah Gedongmeneng dengan penambahan kompos daun singkong tidak dapat dimengerti, namun tingginya Cu-dd dalam tanah yang juga dikapur tampak menyebabkan tingginya Cu-larut dalam tanah dengan perlakuan yang sama (Gambar 1).

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah industri meningkatkan kandungan Cu seluruh contoh tanah. Seperti telah dilaporkan sebelumnya, kapur menurunkan Cu-tersedia sebesar 11,6-55,0%, berkorelasi negatif dengan peningkatan pH tanah. Kapur juga menurunkan Cu-dd sebesar 26,1-86,7% namun kompos daun singkong mengurangi derajat penurunan ini. Kapur tidak menunjukkan pengaruh secara ajeg terhadap Cu-larut. Secara umum daya jerap tanah Banjaragung terhadap logam berat meningkat paling besar, diikuti oleh Gedongmeneng dan Cihea.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian jangka panjang (1995-1999) yang dilaksanakan dengan biaya dari Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi melalui Program Hibah Bersaing IV Tahun ke-3 (TA 1997/1998). Atas dukungan biaya tersebut disampaikan terimakasih sebesar-besarnya. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada Kepala Kantor Pengkajian Perkotaan dan Lingkungan (KPPL) DKI Jakarta yang telah sangat membantu dalam menyediakan limbah industri untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alloway, B.J. 1990. Soil Processes and the behaviour of metals. Hlm.7-28. 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.
- Brummer, G., K. G. Tiller, U. Herms, dan P. M. Clayton. 1983. Adsorption-desorption and/or precipitation-dissolution processes of Zn in soils. *Geoderma*, 31:337-354.
- Chekai, R. T., L. L. Hendrickson, R. B. Corey, dan P. A. Helmke. 1987a. A method for controlling the activities of free metal, hydrogen, and phosphate ions in hydroponic solutions using ion exchange and chelating resins. *Plant Soil*, 99:321-334.
- Chekai, R. T., R. B. Corey, dan P. A. Helmke. 1987b. Effect of ionic and complexed metal concentrations on plant uptake of cadmium and micronutrient metals from solution. *Plant Soil*, 99:335-345.
- El-Falaky, A. A., S. A. Abouloos, dan W. L. Lindsay. 1991. Measurement of cadmium activities in slightly acidic to alkaline soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55:974-979.
- Helling, C. S., C. Chesters, dan R. B. Corey. 1964. Contribution of organic matter and clay to soil cation exchange capacity as affected by

Salam, A.K., dkk.

- the pH of the saturating solution. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 28:517-520.
- 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.
- 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.
- 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. dan P.A. Helmke. 1997. The pH dependence of free ionic activities and total dissolved concentrations of copper and cadmium in soil solution. *Geoderma*, (*Dalam Percetakan*).
- 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, dan Sarno. 1997b. Lowering heavy metal solubilities in tropical soils by lime and cassava-leaf compost additions. *Proc. Environ. Tech. Manag. Seminar 1997*, (*Dalam Percetakan*).
- Salam, A.K., S. Djuniwati, S. Widodo, dan J.T. Harahap. 1997c. Penurunan kelarutan tembaga asal limbah industri di dalam tanah tropika akibat perlakuan kapur dan kompos daun singkong. *Pros. Sem. Disertasi dan Hasil Penel. Doktor*, (*Dalam Percetakan*).
- Singh, B. dan G. S. Sekhon. 1977. Adsorption, desorption, and solubility relationships of lead and cadmium in some alkaline soils. *J. Soil Sci.*, 28:271-275.
- Workman, S. M. dan W. L. Lindsay. 1990. Estimating divalent cadmium activities measured in arid-zone soils using competitive chelation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54:987-993.