

# PENURUNAN KELARUTAN TEMBAGA ASAL LIMBAH INDUSTRI DI DALAM TANAH TROPIKA AKIBAT PERLAKUAN KAPUR DAN KOMPOS DAUN SINGKONG

Abdul Kadir Salam<sup>1</sup>, Sri Djuniwati<sup>1</sup>, Sri Widodo<sup>2</sup>, dan J. Tagor Harahap<sup>3</sup>

## ABSTRACT

**Decrease in Solubility of Copper from Industrial Waste in Tropical Soils Driven by Lime and Cassava-Leaf Compost Treatments (A.K. Salam, S. Djuniwati, S. Widodo, and J.T. Harahap):** The roles of lime and cassava-leaf compost in reducing heavy metal solubility in soils demonstrate the probable use of these materials for decreasing solubility of Cu from industrial waste in soils. This research was to evaluate effects of lime and/or cassava-leaf compost on solubility of Cu from industrial waste in tropical soils. Three soil orders (Oxisol, Alfisol, and Vertisol) from Lampung and West Java were used as model systems. Lime was given at 0, 2.5, and 5 ton CaCO<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>; cassava-leaf compost at 0, 5, and 10 ton ha<sup>-1</sup>; and industrial waste (of metal-spoon industry) at 0, 10, 20, and 40 ton ha<sup>-1</sup>. Mixture system was incubated at 40% moisture content (room temperature) for 4 weeks, after which soil pH and Cu solubility were determined. The results showed that lime and/or waste apparently increased all soils pH. Cassava-leaf compost slightly increased the soil pH of Oxisol and Alfisol, but the pH of Vertisol was lower in lime-and-waste treated soils at 10 ton compost ha<sup>-1</sup> addition. Waste addition significantly increased soluble Cu. As expected, lime addition significantly lowered the Cu solubility in Oxisol and Alfisol and slightly decreased the soluble Cu in Vertisol. Alfisol and Vertisol adsorbed more Cu than did Oxisol. Different from previous report with Cu standard solution addition, cassava-leaf compost showed no effect on soluble Cu.

**Keywords:** Cassava-Leaf Compost, Copper, Industrial Waste, Lime, Tropical Soils

## PENDAHULUAN

Walaupun beberapa jenis limbah industri dilaporkan mengandung berbagai jenis hara esensial bagi tanaman (McCalla dkk., 1986; Pratt dkk., 1986), penggunaannya dalam bidang pertanian masih merupakan dilema. Salah satu hal yang dikhawatirkan dalam pemanfaatan limbah industri dalam bidang pertanian adalah tingginya kandungan berbagai logam berat di dalam limbah industri tertentu (Salam dkk., 1996; Kabata-Pendias dan Pendias, 1992; Alloway, 1990a; Kardos dkk., 1986; DPMA, 1983). Walaupun beberapa jenis logam berat diperlukan oleh

tanaman sebagai unsur hara mikro, misalnya tembaga dan seng (Tisdale dkk., 1985), logam berat lain yang tidak tergolong unsur hara esensial (misalnya Cd, Hg, dan Cr) dapat menimbulkan dampak besar terhadap makhluk hidup bila masuk ke dalam jaringan makanan (Alloway, 1990c; Baker, 1990; Steinnes, 1990; Lagerwerff, 1982). Selain itu, setiap jenis logam berat (termasuk yang tergolong ke dalam kelompok unsur hara mikro) dapat berakibat buruk terhadap tanaman dan makhluk hidup lainnya bila terdapat dalam konsentrasi tinggi atau, karena perubahan faktor lain (misalnya pH tanah turun),

<sup>1</sup> Staf pengajar dan <sup>2</sup>alumnus Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lampung Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung email salam@maiser.unila.ac.id; <sup>3</sup>staf peneliti Kantor Pengkajian Perkotaan dan Lingkungan Daerah Khusus Ibukota Jakarta Jl. Casablanca Kav. 1 Kuningan Jakarta

*J. Tanah Trop. No.8:153-160.*



*Salam, A.K., dkk.*

kelarutannya di dalam tanah meningkat. Oleh karena itu pemanfaatan limbah industri di tanah pertanian perlu dibarengi dengan usaha lain untuk menurunkan kelarutan logam berat asal limbah tersebut di dalam tanah.

Beberapa peneliti telah menggunakan kapur dan/atau kompos tanaman untuk menurunkan kelarutan logam berat di dalam tanah (Salam, dkk., 1997a; Salam, 1995). Secara umum kelarutan logam berat menurun dengan penambahan kapur dan/atau kompos tanaman (Salam dkk., 1997a). Kapur dapat meningkatkan pH tanah, yang pada gilirannya dapat menetralkan ion  $H^+$  dan  $Al^{3+}$  yang terdapat di dalam larutan dan pada kompleks jerapan tanah. Proses ini akhirnya dapat meningkatkan daya jerap tanah terhadap kation logam berat sebagai akibat bertambahnya muatan negatif pada kompleks jerapan, yang semula ditempati oleh ion  $H^+$  dan  $Al^{3+}$ . Bahan organik dapat meningkatkan permukaan aktif tanah karena bahan tersebut mengandung sejumlah gugus fungsional yang bila terdehidrogenisasi dapat mengikat kation logam berat (Rodella dkk., 1995; Alloway, 1990b; Helling dkk., 1964). Karena dehidrogenisasi gugus fungsional bahan organik meningkat dengan meningkatnya pH, peningkatan pH tanah oleh kapur dapat memperbesar daya jerap bahan organik terhadap kation logam berat (Lindsay, 1979). Pengomplekan atau pengelatan kation logam berat oleh bahan organik larut dapat pula mengendapkan logam berat bila berat molekul bahan tersebut cukup tinggi (Keeney dan Wildung, 1986; Kabata-Pendias dan Pendias, 1992). Salam dkk. (1997) telah memperlihatkan bahwa penambahan kapur dan/atau kompos daun singkong dapat menurunkan kelarutan Cu, Zn, Pb, dan Cd yang diberikan dengan penambahan larutan baku ke dalam beberapa jenis tanah tropika.

Usaha imobilisasi logam berat di atas dapat diterapkan tidak saja dalam pemanfaatan limbah industri sebagai sumber hara dalam sistem pertanian, tetapi juga dalam mengelola tanah yang tercemari oleh logam berat dari

berbagai sumber (Markus dan McBratney, 1996; Ville dkk., 1995; Akhter dan Madany, 1993; Davies, 1990; Leung, 1988; Lagerwerff, 1982). Dengan berkembang pesatnya industri modern, pencemaran tanah dan lingkungan oleh logam berat tidak dapat dihindari, sehingga usaha di atas dan usaha lain yang dapat menurunkan kelarutan logam berat di dalam tanah untuk mengurangi tercemarnya jaring makanan oleh bahan ini sangat perlu dikembangkan.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari peranan kapur dan/atau kompos daun singkong dalam mempengaruhi kelarutan Cu di dalam tiga jenis tanah tropika yang diperlakukan dengan limbah industri sendok logam. Limbah industri sendok logam telah dilaporkan sebelumnya mengandung Cu dalam konsentrasi relatif tinggi (Salam dkk., 1996).

#### 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 (Oxisol), Banjaragung (Alfisol) (keduanya di Lampung), dan Cihea, Cianjur, Jawa Barat (Vertisol). Untuk percobaan, contoh tanah dikeringudarkan, dihaluskan, diayak tembus diameter 2 mm, dan dicampur rata. Beberapa sifat fisika dan kimia tanah tersebut disajikan pada Tabel 1.

Sebanyak 400 g contoh tanah (setara berat kering oven  $105^\circ C$ ) 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), 2.5 (L-1), dan 5 (L-2); kompos daun singkong dalam bentuk serbuk dengan 3 takaran (dalam ton  $ha^{-1}$ ): 0 (C-0), 5 (C-1), dan 10 (C-2); dan limbah industri dalam bentuk serbuk dengan 4 takaran (dalam ton  $ha^{-1}$ ): 0



Tabel 1. Sifat fisika dan kimia tanah percobaan.

Sifat Tanah	Gedongmeneng	Banjaragung	Ciheia
Tekstur:			
Pasir (%)	45.6	22.0	21.2
Debu (%)	19.6	21.2	31.0
Liat (%)	34.8	56.8	47.8
pH	5.21	4.97	5.80
Logam Larut (mg kg <sup>-1</sup> ):			
Cu	0.76	1.71	2.91
Zn	2.69	7.59	6.39
C-organik (%)	1.22	1.84	2.34
N-total (%)	0.15	0.17	0.13

(W-1), 10 (W-2), 20 (W-3), dan 40 (W-4). Limbah industri diperoleh dari unit pengolahan limbah (UPL) pabrik sendok logam milik PT *Star Metal Ware Industry* Jakarta, diambil oleh petugas dari Kantor Pengkajian Perkotaan dan Lingkungan (KPPL) DKI Jakarta. Limbah tersebut memiliki pH 7.30, kandungan Cu 754 mg kg<sup>-1</sup>, kandungan Zn 44.5 mg kg<sup>-1</sup>, dan tekstur liat. Seluruh percobaan diulang 3 kali. Contoh tanah dan bahan perlakuan dicampur rata, kemudian diinkubasikan dalam kantong plastik pada kadar air 40% dalam temperatur ruang selama 4 minggu. Kelarutan Cu dan pH tanah ditentukan setelah masa inkubasi selesai. Kelarutan Cu ditentukan dengan metode DTPA (Baker dan Amacher, 1982) dan pH tanah dengan elektrode pH.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

##### *Perubahan pH Tanah*

Perubahan pH tanah akibat perlakuan limbah industri, kapur, dan kompos daun singkong disajikan pada Gambar 1, masing-masing untuk tanah Gedongmeneng (Oxisol), Banjaragung (Alfisol), dan Cihea (Vertisol). Seperti diduga, secara gamblang kapur meningkatkan pH setiap jenis tanah. Penambahan limbah industri juga terlihat meningkatkan pH tanah, diduga disebabkan oleh bahan kapur yang digunakan dalam netralisasi limbah di dalam UPL sebelum

pengambilan contoh limbah. Namun demikian, peningkatan pH tanah oleh limbah industri tidak terjadi pada penambahan kapur 5 ton ha<sup>-1</sup>. Pada perlakuan kapur 5 ton ha<sup>-1</sup> penambahan limbah industri bahkan terlihat menurunkan pH tanah Cihea, khususnya bila kompos daun singkong juga ditambahkan (Gambar 1-c). Seperti telah dijelaskan sebelumnya (Salam dkk., 1997b; Tisdale dkk., 1985), peningkatan pH terjadi akibat netralisasi ion H<sup>+</sup> dan Al<sup>3+</sup> larut atau H dan Al terjerap akibat meningkatnya aktivitas ion OH<sup>-</sup> dan atau HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> yang dihasilkan oleh hidrolisis kapur di dalam air tanah.

Proses peningkatan pH di atas dapat meninggalkan muatan negatif yang dapat ditempati oleh kation lain melalui proses penjerapan (Salam dkk., 1997b). Muatan negatif pada permukaan koloid ini terdapat lebih banyak dalam tanah dengan muatan tergantung pH dalam jumlah tinggi. Semakin tinggi jumlah muatan tergantung pH di dalam tanah semakin tinggi pula jumlah muatan negatif yang akan dimunculkannya untuk setiap satuan peningkatan pH. Dengan ungkapan lain, tanah dengan muatan tergantung pH dalam jumlah tinggi lebih efektif dalam menjerap kation logam berat bila dibarengi dengan usaha peningkatan pH. Terlepas dari proses penjerapan, ion OH<sup>-</sup> dan HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, bila terdapat dalam konsentrasi tinggi, dapat pula mengompleks kation logam dan



Tabel 1. Sifat fisika dan kimia tanah percobaan.

Sifat Tanah	Gedongmeneng	Banjaragung	Ciheia
Tekstur:			
Pasir (%)	45.6	22.0	21.2
Debu (%)	19.6	21.2	31.0
Liat (%)	34.8	56.8	47.8
pH	5.21	4.97	5.80
Logam Larut (mg kg <sup>-1</sup> ):			
Cu	0.76	1.71	2.91
Zn	2.69	7.59	6.39
C-organik (%)	1.22	1.84	2.34
N-total (%)	0.15	0.17	0.13

(W-1), 10 (W-2), 20 (W-3), dan 40 (W-4). Limbah industri diperoleh dari unit pengolahan limbah (UPL) pabrik sendok logam milik PT *Star Metal Ware Industry* Jakarta, diambil oleh petugas dari Kantor Pengkajian Perkotaan dan Lingkungan (KPPL) DKI Jakarta. Limbah tersebut memiliki pH 7.30, kandungan Cu 754 mg kg<sup>-1</sup>, kandungan Zn 44.5 mg kg<sup>-1</sup>, dan tekstur liat. Seluruh percobaan diulang 3 kali. Contoh tanah dan bahan perlakuan dicampur rata, kemudian diinkubasikan dalam kantong plastik pada kadar air 40% dalam temperatur ruang selama 4 minggu. Kelarutan Cu dan pH tanah ditentukan setelah masa inkubasi selesai. Kelarutan Cu ditentukan dengan metode DTPA (Baker dan Amacher, 1982) dan pH tanah dengan elektrode pH.

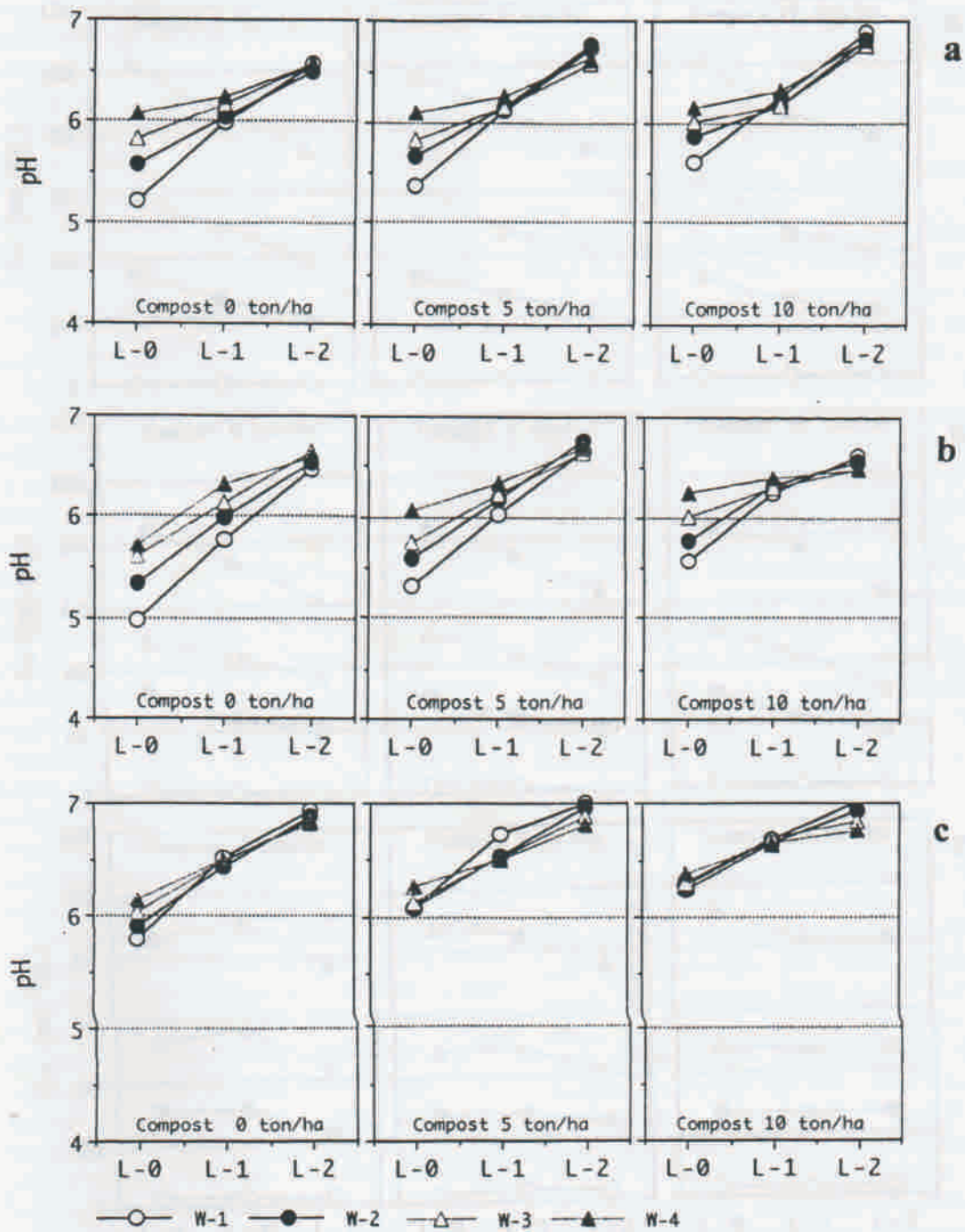
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Perubahan pH Tanah

Perubahan pH tanah akibat perlakuan limbah industri, kapur, dan kompos daun singkong disajikan pada Gambar 1, masing-masing untuk tanah Gedongmeneng (Oxisol), Banjaragung (Alfisol), dan Cihea (Vertisol). Seperti diduga, secara gamblang kapur meningkatkan pH setiap jenis tanah. Penambahan limbah industri juga terlihat meningkatkan pH tanah, diduga disebabkan oleh bahan kapur yang digunakan dalam netralisasi limbah di dalam UPL sebelum

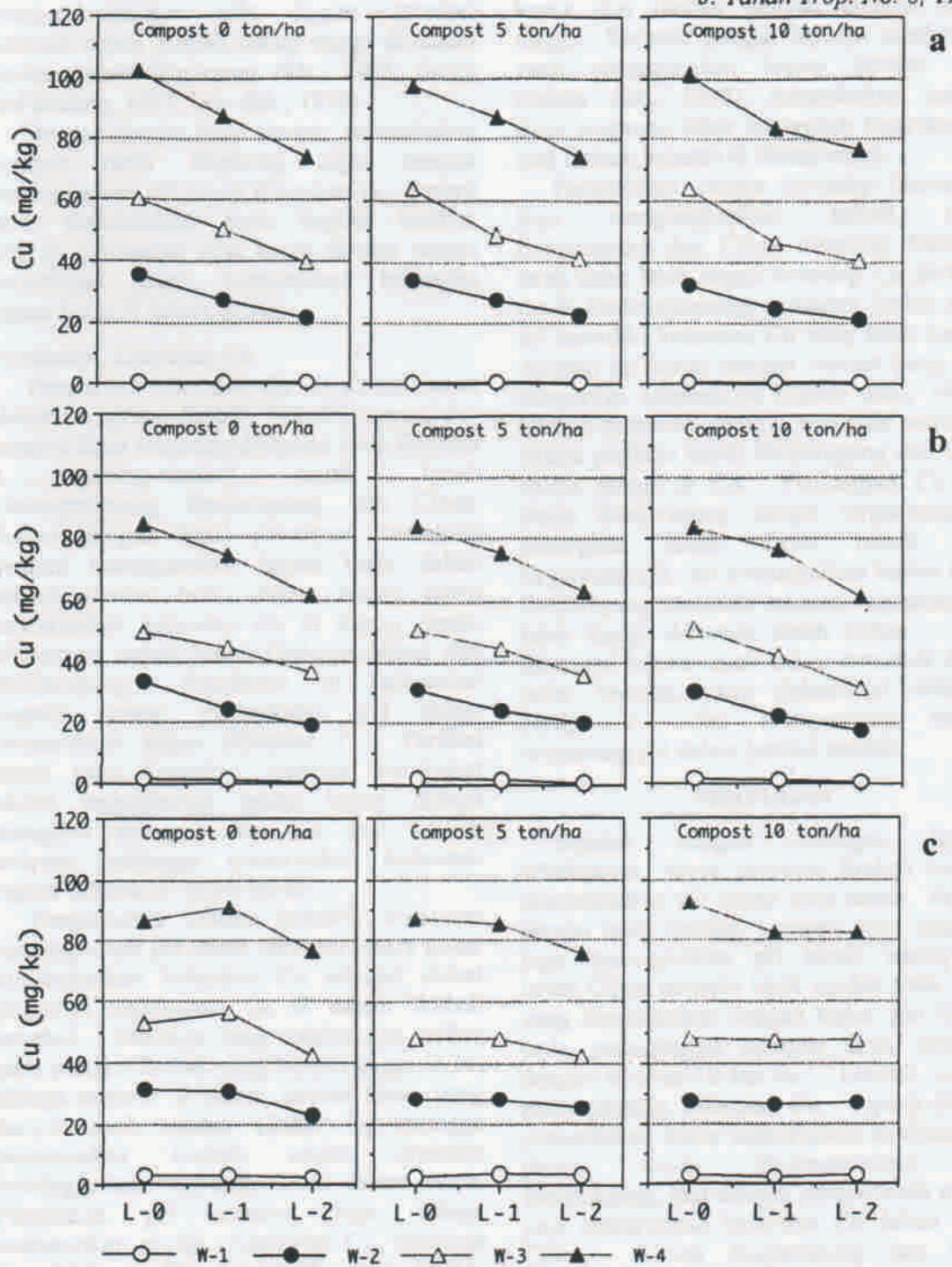
pengambilan contoh limbah. Namun demikian, peningkatan pH tanah oleh limbah industri tidak terjadi pada penambahan kapur 5 ton ha<sup>-1</sup>. Pada perlakuan kapur 5 ton ha<sup>-1</sup> penambahan limbah industri bahkan terlihat menurunkan pH tanah Cihea, khususnya bila kompos daun singkong juga ditambahkan (Gambar 1-c). Seperti telah dijelaskan sebelumnya (Salam dkk., 1997b; Tisdale dkk., 1985), peningkatan pH terjadi akibat netralisasi ion H<sup>+</sup> dan Al<sup>3+</sup> larut atau H dan Al terjerap akibat meningkatnya aktivitas ion OH<sup>-</sup> dan atau HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> yang dihasilkan oleh hidrolisis kapur di dalam air tanah.

Proses peningkatan pH di atas dapat meninggalkan muatan negatif yang dapat ditempati oleh kation lain melalui proses penjerapan (Salam dkk., 1997b). Muatan negatif pada permukaan koloid ini terdapat lebih banyak dalam tanah dengan muatan tergantung pH dalam jumlah tinggi. Semakin tinggi jumlah muatan tergantung pH di dalam tanah semakin tinggi pula jumlah muatan negatif yang akan dimunculkannya untuk setiap satuan peningkatan pH. Dengan ungkapan lain, tanah dengan muatan tergantung pH dalam jumlah tinggi lebih efektif dalam menjerap kation logam berat bila dibarengi dengan usaha peningkatan pH. Terlepas dari proses penjerapan, ion OH<sup>-</sup> dan HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, bila terdapat dalam konsentrasi tinggi, dapat pula mengompleks kation logam dan



Gambar 1. Perubahan pH tanah akibat perlakuan kapur, limbah industri, dan kompos daun singkong (L-0 = 0, L-1 = 2.5, dan L-2 = 5 ton  $\text{CaCO}_3 \text{ ha}^{-1}$ ; W-1 = 0, W-2 = 10, W-3 = 20, dan W-4 = 40 ton limbah  $\text{ha}^{-1}$ ; a = Gedongmeneng, b = Banjaragung, dan c = Cihea).





Gambar 2. Perubahan kelarutan Cu dalam tanah akibat perlakuan kapur, limbah industri, dan kompos daun singkong (L-0 = 0, L-1 = 2.5, dan L-2 = 5 ton  $\text{CaCO}_3 \text{ ha}^{-1}$ ; W-1 = 0, W-2 = 10, W-3 = 20, dan W-4 = 40 ton limbah  $\text{ha}^{-1}$ ; a = Gedongmeneng, b = Banjaragung, dan c = Cihea).



*Salam, A.K., dkk.*

mengendapkannya bila logam tersebut terdapat dalam jumlah cukup tinggi di dalam larutan tanah (Brummer dkk., 1983; Singh and Sekhon, 1977; Udo dkk., 1970).

Dengan derajat lebih rendah, penambahan kompos daun singkong juga tampak meningkatkan pH tanah (Gambar 1). Seperti akan didiskusikan pada bagian berikut, seluruh perubahan sifat tanah di atas sangat bermanfaat dalam menurunkan kelarutan logam berat di dalam tanah.

#### *Perubahan Kelarutan Cu*

Perubahan kelarutan Cu di dalam tanah akibat perlakuan limbah industri, kapur, dan kompos daun singkong disajikan pada Gambar 4, masing-masing untuk tanah Gedongmeneng, Banjaragung, dan Cihea. Sesuai dengan hasil percobaan terdahulu dengan menggunakan logam berat dalam bentuk larutan baku, kapur secara tajam menurunkan kelarutan Cu di dalam tanah, khususnya dalam tanah Gedongmeneng dan Banjaragung. Fenomena ini berkorelasi negatif dengan peningkatan pH akibat penambahan kapur (Gambar 1). Partikel tanah yang kapasitas jerapnya meningkat akibat penambahan bahan kapur diduga mengikat sebagian dari Cu asal limbah industri, sehingga menurunkan kelarutan logam tersebut di dalam tanah.

Penambahan limbah industri, walaupun meningkatkan pH tanah, ternyata secara linear meningkatkan kelarutan Cu sebagai akibat tingginya kandungan Cu di dalam limbah tersebut. Tembaga yang sebelumnya terikat pada partikel limbah yang ber-pH tinggi (7.30) diduga melarut di dalam larutan tanah yang ber-pH lebih rendah (Tabel 1), sehingga penambahan limbah secara dramatis meningkatkan kelarutan Cu di dalam tanah. Perubahan pH tersebut juga diduga menurunkan energi pengikatan Cu, sehingga Cu lebih mudah terekstrak oleh DTPA. Dengan melihat tingginya kelarutan Cu, sebagian Cu asal limbah industri dapat pula mengendap, khususnya pada penambahan

kapur dan limbah dengan takaran relatif tinggi. Berbeda dengan laporan sebelumnya yang menggunakan logam larutan baku (Salam dkk., 1997), penambahan kompos daun singkong tidak mengubah kelarutan Cu asal limbah industri di dalam tanah.

Pengamatan cermat terhadap Gambar 4 juga mengungkapkan bahwa tanah Banjaragung dan Cihea memiliki kapasitas jerap yang lebih tinggi terhadap Cu daripada tanah Gedongmeneng, sehingga kedua tanah ini memiliki kelarutan Cu yang lebih rendah. Amatan ini sesuai dengan temuan yang telah dilaporkan sebelumnya (Salam dkk., 1997b). Namun demikian, terlihat jelas pula perbedaan antara perilaku tanah Banjaragung dan Cihea dalam menyerap Cu. Penjerapan Cu oleh tanah Banjaragung sangat tergantung pH sedangkan tanah Cihea relatif tidak tergantung pH. Ini menunjukkan bahwa tanah Banjaragung memiliki muatan tergantung pH lebih tinggi daripada tanah Cihea. Telah diketahui bahwa tanah Cihea termasuk dalam order Vertisol, yang didominasi oleh liat bertipe 2:1 dan mengandung muatan tergantung pH dalam jumlah rendah.

#### **SIMPULAN**

Sejalan dengan berbagai laporan sebelumnya, kapur dan/atau limbah industri meningkatkan pH setiap jenis tanah. Dengan derajat lebih rendah, kompos daun singkong juga meningkatkan pH tanah, namun pH tanah Cihea ternyata lebih rendah pada tanah yang diperlakukan dengan kapur dan limbah pada penambahan kompos daun singkong dengan takaran 10 ton ha<sup>-1</sup>. Limbah industri meningkatkan kelarutan Cu. Seperti diduga, penambahan kapur menurunkan kelarutan Cu dalam tanah Gedongmeneng dan Banjaragung, dan dengan derajat lebih rendah juga menurunkan kelarutan Cu dalam tanah Cihea. Tanah Banjaragung dan Cihea menyerap Cu asal limbah industri dalam jumlah lebih tinggi daripada tanah Gedongmeneng. Berbeda dengan laporan sebelumnya dengan penggunaan logam



larutan baku, penambahan kompos daun singkong tidak berpengaruh terhadap kelarutan Cu.

### 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 sebesarnya. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada Kepala Kantor Pengkajian Perkotaan dan Lingkungan (KP2L) DKI Jakarta yang telah sangat membantu dalam menyediakan limbah industri untuk 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. (ed.). 1990a. *Heavy Metals in Soils*. Blackie, London.
- Alloway, B.J. 1990b. Soil Processes and the behaviour of metals. Hlm.7-28. *Dalam* B.J. Alloway (ed.). *Heavy Metals in Soils*. Blackie, London.
- Alloway, B.J. 1990c. 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
- Baker, D. E. 1990. Copper. Hlm.151-176. *Dalam* B.J. Alloway (ed.). *Heavy Metals in Soils*. Blackie, London.
- 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.
- Davies, B.E. 1990. Lead. Hlm.177-196. *Dalam* B. J. Alloway (ed.). *Heavy Metals in Soils*. Blackie, London.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Air. 1983. *Pengendalian pencemaran logam berat Daerah Jabotabek dan Teluk Jakarta*. Direktorat Jenderal Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- 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.
- Kardos, L.T., C.E. Scarsbrook, dan V.V. Volk. 1986. Recycling elements in wastes through soil-plant systems. Hlm.300-324. *Dalam* L.F. Elliott dan F.J. Stevenson (ed.). *Soils for Management of Organic Wastes and Waste Waters*. SSSA Inc., Madison.
- Keeney, D.R. dan R.E. Wildung. 1986. Chemical properties of soils. Hlm.74-97. *Dalam* L.F. Elliott dan F.J. Stevenson (ed.). *Soils for Management of Organic Wastes and Waste Waters*. SSSA Inc., Madison.
- Lagerwerff, J.V. 1982. Lead, mercury, and cadmium as environmental contaminants. Hlm.593-636. *Dalam* J.J. Mortvedt, P.M. Giordano, dan W.L. Lindsay (ed.). *Micronutrients in Agriculture*. SSSA Inc., Madison.
- Leung, H.W. 1988. Environmental sampling of lead near a battery reprocessing factory. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 41:427-433.
- Lindsay, W.L. 1979. *Chemical Equilibria in Soils*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Markus, J.A. dan A.B. McBratney. 1996. An urban soil study: heavy metals in glebe, Australia. *Aust. J. Soil Res.*, 34:453-465.
- McCalla, T.M., J.R. Peterson, dan C. Lue-Hing. 1986. Properties of agricultural and municipal wastes. Hlm.10-43. *Dalam* L.F. Elliott dan F.J. Stevenson (ed.). *Soils for Management of Organic Wastes and Waste Waters*. SSSA Inc., Madison.
- Pratt, P.F., M.D. Thorne, dan F. Wiersma. 1986. Future direction in waste utilization. Hlm.620-634. *Dalam* L.F. Elliott dan F.J. Stevenson (ed.). *Soils for Management of Organic Wastes and Waste Waters*. SSSA Inc., Madison.
- 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., dkk.*

- Salam, A.K. 1995. Imobilisasi logam berat di dalam tanah selama 15 tahun. *J. Ilmiah Ilmu Pert.*, 3(1):20-27.
- Salam, A.K., S. Djuniwati, J.T. Harahap, dan Suwanto. 1996. Imobilisasi logam berat asal limbah industri di dalam tanah tropika: I. Sifat kimia limbah industri. *J. Ilmu Pert.*, 4(1):61-67.
- Salam, A.K., S. Djuniwati, Sarno, N. Sriyani, dan H. Novpriansyah. 1997a. Manipulasi sifat kimia tanah untuk mengurangi dampak negatif logam berat asal limbah industri terhadap tanah, air, dan tanaman. Laporan Penelitian HB IV/2. Fakultas Pertanian Univ. Lampung, Bandar Lampung.
- Salam, A.K., S. Djuniwati, Sarno, N. Sriyani, H. Novpriansyah, A. Septiana, dan H. D. Putera. 1997b. The DTPA-extractable heavy metals in tropical soils treated with lime materials. *Indon. J. Trop. Agric.*, 8(1):6-12.
- Singh, B. dan G.S. Sekhon. 1977. Adsorption, desorption, and solubility relationships of lead and cadmium in some alkaline soils. *J. Soil Sci.*, 28:271-75.
- Steinnes, E. 1990. Mercury. Hlm.222-236. *Dalam* B. J. Alloway (ed.). *Heavy Metals in Soils*. Blackie, London.
- Tisdale, S.L., W.L. Nelson, dan J.D. Beaton. 1985. *Soil Fertility and Fertilizers*. Ed, ke-4. Macmillan Publ. Co., New York.
- Udo, E.J., H.L. Bohn, dan T.C. Tucker. 1970. Zinc adsorption by calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Amer Proc.*, 34:405-407.
- Vile, M.A., M.J.V. Novak, E. Brizova, R.K. Wieder, dan W.R. Schell. 1995. Historical rates of atmospheric Pb deposition using <sup>210</sup>Pb dated peat cores: corroboration, computation, and interpretation. *Water Air Soil Pollut.*, 70:89-106.