

Sifat-Sifat Tanah Dominan yang Berpengaruh Terhadap K Tersedia pada Tanah-Tanah yang Didominasi Smektit

Dominant Soil Characteristics that Effect on Available K at Smectitic Soils

D. NURSYAMSI¹, K. IDRIS², S. SABIHAM³, D.A. RACHIM³, DAN A. SOFYAN⁴

ABSTRAK

Penelitian yang bertujuan untuk mempelajari sifat-sifat tanah dominan yang berpengaruh terhadap K tersedia pada tanah-tanah yang didominasi mineral liat smektit telah dilaksanakan di Laboratorium Penelitian dan Uji Tanah, Balai Penelitian Tanah. Karakteristik tanah yang dianalisis meliputi tekstur 3 fraksi (pipet), C-organik (Kjeldahl), dan KTK (NH_4OAc); mineral fraksi liat (*X-Ray Diffraction*); fraksionasi K: K_i (0.0002 M CaCl_2), K_{dd} (NH_4OAc), dan K_t ($\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$); serta jerapan K tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar K_i , K_{dd} , K_{td} , dan K_t tanah dari tinggi ke rendah berturut-turut adalah Vertisols > Alfisols > Inceptisols. Proporsi bentuk K dari rendah ke tinggi di ketiga tanah yang diteliti mempunyai urutan yang sama, yaitu: $K_i < K_{dd} < K_{td}$. Meskipun K_t tanah tinggi tapi sebagian besar K tanah tersebut berada dalam bentuk tidak dapat dipertukarkan sehingga tidak tersedia bagi tanaman. Daya sangga dan jerapan maksimum K di ketiga tanah yang diteliti dari tinggi ke rendah adalah Vertisols > Alfisols > Inceptisols. Sementara itu konstanta energi ikatan tanah Vertisols hampir sama dengan Alfisols dan sekitar dua kali lipat tanah Inceptisols. Liat, C-organik, dan KTK tanah umumnya berpengaruh nyata ($P > 0,95$) terhadap peubah ketersediaan K tanah. Smektit berkontribusi nyata ($P > 0,95$) terhadap muatan negatif tanah sehingga memegang peranan penting dalam mengendalikan daya sangga dan jerapan maksimum K tanah. Untuk meningkatkan efisiensi pupuk K, tanaman yang dapat menghasilkan eksudat asam organik tinggi dapat dikembangkan di tanah-tanah yang didominasi smektit. Selain itu penambahan kation Na, NH_4 , dan Fe juga perlu dipertimbangkan dalam pengelolaan K tanah.

Kata kunci : Sifat tanah, Ketersediaan K, Tanah yang didominasi smektit

ABSTRACT

Research aimed to study dominant soil characteristics that effect on available K of smectitic soils were conducted in Laboratory of Research and Soil Test, Indonesian Soil Research Institute. The soil characteristics that has been analysed were soil texture (pipette), organic-C (Kjeldahl), and CEC (NH_4OAc); mineralogical analyses of clay fraction (*X-Ray Diffraction*); K fractionation: soil soluble-K (0.0002 M CaCl_2), exchangeable-K (NH_4OAc), and total-K ($\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$); and potassium sorption. The results showed that the content of soil soluble, exchangeable, non-exchangeable, and total-K was in order of Vertisols > Alfisols > Inceptisols. The percentage of soil K fraction of the soils, however, was in order of soluble-K < exchangeable-K < non-exchangeable-K. Although the soils had high content in total K but most of them were in non-exchangeable form, thus they were not available for plant

growth. Soil K buffering capacity and maximum sorption were in order of Vertisols > Alfisols > Inceptisols. The bond energy constant of Vertisols, however, was similar with that of Alfisols but it was about twice with that of Inceptisols. Soil clay, organic-C, and CEC affected the availability of soil K significantly ($P > 0.95$). Smectite contributed significantly ($P > 0.95$) to soil negative charge so that it held an important role in controlling soil K buffering capacity and maximum sorption. To increase the efficiency of K fertilizer, plant species that can produce organic acid exudated from roots in high quantity can be developed in smectitic soils. The use of Na, NH_4 , and Fe cations need also to be considered for K management in the soils as well.

Keywords : Soil characteristics, K availability, Smectitic soils

PENDAHULUAN

Kalium diserap tanaman biasanya dalam bentuk K larut (K_i) atau *soluble K* (K^+) yang berada dalam reaksi keseimbangan dengan K dapat dipertukarkan (K_{dd}) atau *exchangeable K* dan K tidak dapat dipertukarkan (K_{td}) atau *non-exchangeable K*. Bentuk kalium yang pertama biasanya disebut sebagai bentuk K cepat tersedia karena bisa langsung diserap oleh akar tanaman, bentuk K yang kedua merupakan K agak lambat tersedia, sedangkan bentuk K yang terakhir merupakan K lambat dan tidak tersedia. Ketersediaan kalium bagi tanaman tergantung aspek tanah, tanaman, dan variabel iklim. Aspek tanah antara lain meliputi: jumlah dan jenis mineral liat, kapasitas tukar kation (KTK), daya sangga tanah terhadap K, kelembaban, suhu, aerasi dan pH tanah. Spesies tanaman juga berpengaruh terhadap serapan K, dimana tanaman yang toleran memerlukan K

1. Peneliti pada Balai Penelitian Tanah, Bogor.
2. Pengajar pada Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, IPB, Bogor.
3. Guru Besar pada Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, IPB, Bogor.
4. Direktur Perluasan Areal, Dirjen Sumberdaya Lahan dan Air, Deptan.

dalam jumlah sedikit dan sebaliknya tanaman sensitif memerlukan K dalam jumlah banyak. Dengan demikian pengelolaan hara K untuk meningkatkan produksi tanaman perlu memperhatikan faktor-faktor tersebut di atas.

Ketersediaan K di dalam tanah tergantung kepada proses dan dinamika kalium dalam tanah terutama proses jerapan dan pelepasan. Bila konsentrasi hara dalam larutan tanah meningkat (misal karena pemberian pupuk) maka hara segera dijerap oleh tanah menjadi bentuk tidak tersedia (sementara waktu), proses ini disebut sebagai jerapan (*sorption*). Sebaliknya bila konsentrasinya dalam larutan tanah turun (misal karena hara diserap tanaman atau tercuci) maka hara terjerap segera lepas (*release*) ke dalam larutan sehingga bisa diserap oleh tanaman, proses ini disebut sebagai pelepasan (*desorption*) (Brady, 1984). Apabila proses pelepasan lebih lambat daripada proses jerapan maka ketersediaan kalium akan berkurang sehingga pertumbuhan tanaman terganggu.

Proses jerapan dan pelepasan kalium dalam tanah terutama dikendalikan oleh jenis dan jumlah mineral liat. Mineral liat tipe 2:1 mempunyai jerapan terhadap kalium dan dapat melepaskan kalium paling tinggi dibandingkan dengan mineral liat lainnya seperti liat tipe 2:1:1, 1:1, oksida, dan alofan. Diantara mineral liat tipe 2:1 ternyata beidelit (kelompok smektit) mempunyai kapasitas fiksasi paling tinggi. Bajwa (1987) yang meneliti jerapan K di tanah-tanah sawah di Pakistan yang mempunyai komposisi mineral berbeda melaporkan bahwa urutan fiksasi terhadap K dari tinggi ke rendah adalah : smektit (beidelit) > vermikulit > hidrous mika = chlorit = haloyisit. Penelitian lainnya yang dilaksanakan di tanah Vertisols di India yang didominasi oleh mineral liat smektit menunjukkan bahwa beidelit mempunyai fiksasi K paling tinggi dibandingkan montmorilonit, mika, illit, dan vermikulit (Murthy *et al.*, 1987). Selanjutnya pelepasan K dari mineral mika berturut-turut dari tinggi ke rendah adalah phlogopit > biotit > muskovit (Singh and Pasricha, 1987).

Tanah-tanah yang mengandung mineral liat smektit mempunyai prospek yang cukup besar untuk dikembangkan menjadi lahan pertanian tanaman pangan asal dibarengi dengan pengelolaan tanaman dan tanah yang tepat. Tanah ini umumnya meliputi tanah Aluvial (Inceptisols), Mediteran (Alfisols), dan Grumusol (Vertisols). Tanah-tanah tersebut mempunyai penyebaran yang cukup luas di tanah air, yaitu Vertisols sekitar 2,12 juta, Inceptisols, 70,52 juta, dan Alfisols 5,5 juta ha yang tersebar di wilayah Jawa (Jabar, Jateng, dan Jatim), Sulawesi (Sulsel, Sulteng, dan Gorontalo), dan Nusa Tenggara (Lombok) (Puslittanak, 2000). Tanah ini termasuk tanah pertanian utama di Indonesia dan umumnya dimanfaatkan untuk padi sawah irigasi dan tadah hujan, palawija, kebun campuran, tebu, tembakau, kapas, kelapa, dan hortikultura lainnya seperti mangga (Subagyo *et al.*, 2000).

Karakteristik tanah-tanah yang mengandung mineral liat smektit antara lain mempunyai fraksi liat tinggi (33-92%) dan reaksi tanah netral hingga alkalin, yaitu pH sekitar 6,5-8,0. Karena kemasaman tanah rendah, ketersediaan unsur hara mikro (Fe, Cu, Zn, dan Mn) umumnya rendah. Kadar bahan organik rendah hingga sedang, kadar K potensial, basa-basa (Ca dan Mg), dan kapasitas tukar kation umumnya tinggi (Subagyo *et al.*, 2000). Walaupun kadar K total tanah tinggi tapi ketersediaan kalium bagi tanaman sering menjadi masalah karena K difiksasi oleh mineral liat tipe 2:1, seperti dari golongan smektit (Borchardt, 1989) yang dominan di tanah tersebut. Namun demikian tanah-tanah tersebut umumnya mempunyai kapasitas fiksasi K (*K-fixing capacity*) dan daya sangga terhadap K (PBC^k) yang sangat tinggi (Ghousikar and Kendre, 1987). Oleh karena itu, berbagai upaya perlu dilakukan untuk mengatasi fiksasi K tanah sehingga ketersediaannya meningkat bagi tanaman.

Bertitik tolak dari pemikiran di atas, penelitian ini bertujuan untuk mempelajari sifat-sifat tanah yang berpengaruh terhadap ketersediaan kalium tanah-tanah yang mengandung mineral liat smektit.

Tabel 1. Sebaran contoh tanah yang diambil dari Jawa*Table 1. Distribution of soil samples taken from Jawa*

No.	Jenis tanah		Fisiografi	Bahan induk	Jumlah
	LPT (1966)	Soil Survey Staff (1998)			
1.	Aluvial	Inceptisols	Dataran	Endapan liat	13
2.	Grumusol	Vertisols	Dataran	Endapan liat berkapur	47
3.	Mediteran	Alfisols	Bukit lipatan	Batu kapur	31

BAHAN DAN METODE

Contoh tanah komposit lapisan atas (0-20 cm) telah diambil sebanyak 91 contoh, berturut-turut dari Jawa Barat dan Jawa Tengah masing-masing 32 contoh dan Jawa Timur 27 contoh. Pengambilan contoh tanah komposit mengikuti sebaran tanah yang tertera dalam Peta Tanah Tinjau Provinsi Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur skala 1:250.000 (LPT, 1966). Contoh tersebut merupakan bahan tanah lapisan atas dari tanah Aluvial, Grumusol, dan Mediteran atau setara dengan Inceptisols, Vertisols, dan Alfisols (Soil Survey Staff, 1998). Selanjutnya sebaran contoh tanah, fisiografi, dan bahan induk dari masing-masing jenis tanah disajikan pada Tabel 1.

Analisis tanah dilakukan terhadap karakteristik tanah yang diduga berkaitan erat dengan dinamika kalium dalam tanah. Sifat-sifat tanah tersebut meliputi : pH H₂O, tekstur tiga fraksi (pipet), C-organik (Kjeldahl), P-Olsen, K-HCl 25%, Ca_{dd}, Mg_{dd}, dan K_{dd}, serta kapasitas tukar kation atau KTK (NH₄OAc pH 7,0), dan Al_{dd} (KCl 1 N).

Analisis semi kualitatif mineral liat tanah dilakukan terhadap 20 contoh tanah, yaitu: Alfisols delapan contoh, Vertisols delapan contoh, dan Inceptisols empat contoh. Pemisahan butir-butir primer tanah (pasir, debu, dan liat) dilakukan dengan cara menghilangkan bahan pengikat tanah. Penghilangan bahan karbonat dilakukan dengan cara menambahkan HCl pH 5, sedangkan bahan organik dengan peroksida (H₂O₂). Contoh tanah bebas bahan pengikat didispersikan, lalu butir pasir kasar dipisahkan dengan penyaringan 50 µm, sedangkan pemisahan fraksi liat dari debu dilakukan dengan prinsip perbedaan kecepatan butir jatuh menurut hukum Stokes. Preparat masing-masing contoh suspensi liat

diberi perlakuan : penjuanan dengan Mg, Mg + gliserol, penjuanan dengan K, K + 350°C, dan K + 500°C. Selanjutnya jenis liat dalam preparat tersebut diukur dengan alat *X-Ray Diffraction* (XRD) pada sudut putar 4-30° dan lampu katoda Cu.

Bentuk-bentuk (fraksionasi) K tanah yang ditetapkan meliputi : K_i dengan pengekstrak CaCl₂ 0,0002 M; K_{dd} dengan NH₄OAc 1 N pH 7.0; dan K_t dengan HNO₃ + HClO₄. Penetapan K_i tidak menggunakan pengekstrak air karena ekstraktannya keruh sehingga pengukuran dengan metode *atomic absorption spectrophotometry* (AAS) tidak akurat. Sebagai pengganti pengekstrak air adalah larutan CaCl₂ encer (0,0002 M). Selanjutnya K_{td} didefinisikan sebagai K_t dikurangi oleh K_i dan K_{dd}.

Penetapan jerapan K dilakukan dengan mengikuti prosedur Fox dan Kamprath (1970). Contoh masing-masing tanah ditimbang 2 g berat kering mutlak dan dimasukkan ke dalam botol kocok, lalu ditambahkan 20 ml larutan CaCl₂ 0,0002 M yang mengandung 10 tingkat konsentrasi K. Konsentrasi K yang digunakan adalah : 0; 2,5; 5; 7,5; 10; 15; 20; 30; 40; dan 60 ppm K dari KCl. Ekstraksi tanah diinkubasi selama enam hari dan dikocok dua kali sehari, masing-masing selama 30 menit pagi dan sore hari. Setelah inkubasi, larutan disaring dan ekstrak jernih digunakan untuk pengukuran K. Selanjutnya konsentrasi K dalam ekstrak diukur dengan metode AAS.

Jerapan K dihitung dengan model Langmuir menurut Fox dan Kamprath (1970) yang menggunakan persamaan sebagai berikut : $x m^{-1} = kbC (1 + kC)^{-1}$, dimana : $x m^{-1}$ = jumlah K yang dijerap per satuan berat tanah; k = konstanta yang berkaitan dengan energi ikatan; b = daya jerap K maksimum; dan C = konsentrasi K dalam keseimbangan.

Persamaan tersebut diubah menjadi : $C x^{-1} m^{-1} = 1 kb^{-1} + 1 b^{-1} C$. Pengeplotan antara $C x^{-1} m^{-1}$ dengan C akan menghasilkan garis lurus dengan persamaan regresi $Y = m + nX$. Nilai n persamaan regresi tersebut sama dengan $1 b^{-1}$ persamaan di atas, sehingga nilai b dapat ditentukan. Setelah nilai b diketahui maka nilai k dapat dihitung. Nilai b merupakan jerapan maksimum dan k merupakan nilai konstanta energi ikatan suatu tanah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik kimia tanah

Kisaran karakteristik tanah lapisan atas (0-20 cm) tanah-tanah yang diambil dari Jawa disajikan pada Tabel 2. Menurut kriteria Puslittan (1983) semua tanah yang diteliti bertekstur liat, reaksi tanah netral (Inceptisols dan Vertisols) hingga alkalin (Alfisols), sedangkan kemasaman tanah semuanya rendah, sebaliknya kejenuhan basa (KB) semuanya tinggi. Kadar C dan N-organik tanah semuanya rendah, kadar K-potensial tanah sedang (Inceptisols dan Alfisols) hingga tinggi (Vertisols), sedangkan kadar P-potensial tanah semuanya tinggi. Kadar Ca dan Mg_{dd} tanah termasuk sedang (Inceptisols) hingga tinggi (Vertisols dan Alfisols), sedangkan K_{dd} tanah termasuk rendah (Inceptisols), sedang

(Alfisols), dan tinggi (Vertisols). Kapasitas tukar kation (KTK) tanah termasuk sedang (Inceptisols) hingga tinggi (Alfisols dan Vertisols).

Berdasarkan Peta Tanah Tinjau skala 1:250.000 Provinsi Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur (LPT, 1966), tanah-tanah yang diteliti berasal dari bahan induk endapan liat (Inceptisols), endapan liat berkapur (Vertisols), dan batu kapur (Alfisols) sehingga pelapukannya menghasilkan bahan tanah yang bertekstur liat. Batu kapur mengandung mineral $Ca, Mg(CO_3)_2$ yang tinggi dan pelapukannya menghasilkan Ca^{2+}, Mg^{2+} , dan CO_3^{2-} . Hal ini menyebabkan kadar Ca dan Mg_{dd} tanah (terutama Alfisols) tinggi sehingga kejenuhan basa juga tinggi. Selanjutnya ion CO_3^{2-} akan mengalami hidrolisis menghasilkan ion OH^- sehingga pH tanah meningkat, sebaliknya kation Al akan mengendap sehingga Al_{dd} atau kemasaman tanah turun.

Tanah-tanah yang diteliti berada di daerah tropika basah (Jawa Barat dan Jawa Tengah bagian barat) atau curah hujan (CH) rata-rata $> 2.000 mm th^{-1}$ hingga kering (Jawa Tengah bagian timur dan Jawa Timur) atau $CH < 2.000 mm th^{-1}$ (Balitklimat, 2003). Suhu rata-rata tahunan yang tinggi di daerah tropika menyebabkan tingkat pelapukan bahan organik di daerah ini tinggi sehingga *turn over* bahan organik di dalam tanah relatif singkat, akibatnya

Tabel 2. Kisaran karakteristik tanah lapisan atas tanah-tanah Inceptisols, Vertisols, dan Alfisols dari Jawa

Table 2. Topsoil characteristics of Inceptisols, Vertisols, and Alfisols from Java

Karakteristik tanah	Metode/pengekstrak	Inceptisols	Vertisols	Alfisols
Kadar liat (%)	Pipet	37 ± 17	63 ± 12	53 ± 18
pH H ₂ O	Air (1:2,5)	6,0 ± 0,8	6,5 ± 0,9	7,0 ± 0,9
C-organik (%)	Kjeldahl	1,10 ± 0,11	1,40 ± 0,15	2,04 ± 0,44
N-organik (%)	Kjeldahl	0,09 ± 0,05	0,20 ± 0,10	0,19 ± 0,10
K-potensial (ppm K ₂ O)	HCl 25%	148 ± 102	239 ± 140	198 ± 96
P-potensial (ppm P ₂ O ₅)	HCl 25%	516 ± 203	548 ± 274	583 ± 295
<i>Nilai tukar kation</i>				
Ca_{dd} (Cmol _c kg ⁻¹)	NH ₄ OAc pH 7,0	10,06 ± 2,09	36,40 ± 14,26	30,88 ± 11,02
Mg_{dd} (Cmol _c kg ⁻¹)	NH ₄ OAc pH 7,0	2,99 ± 1,14	6,98 ± 2,34	3,57 ± 1,17
K_{dd} (Cmol _c kg ⁻¹)	NH ₄ OAc pH 7,0	0,13 ± 0,11	0,33 ± 0,27	0,25 ± 0,18
KTK (Cmol _c kg ⁻¹)	NH ₄ OAc pH 7,0	16,92 ± 6,92	56,38 ± 22,17	30,83 ± 13,20
KB (%)	NaCl	85 ± 20	84 ± 29	>100 ± 79
<i>Kemasaman</i>				
Al_{dd} (Cmol _c kg ⁻¹)	KCl 1N	0,28 ± 0,29	0,25 ± 0,30	0,10 ± 0,19
H_{dd} (Cmol _c kg ⁻¹)	KCl 1 N	0,28 ± 0,07	0,29 ± 0,12	0,26 ± 0,08
Jumlah contoh		13	47	31

kadar C dan N organik tanah rendah. Selain itu, curah hujan yang tinggi juga menyebabkan tingkat pencucian bahan organik dan N tanah tinggi.

Kadar P dan K-potensial tanah selain dipengaruhi oleh bahan induk, juga berkaitan erat dengan tingkat pengelolaan tanah. Tanah-tanah di Jawa baik di lahan sawah maupun lahan kering umumnya mempunyai tingkat intensifikasi penggunaan lahan lebih tinggi dibandingkan di luar Jawa. Akibatnya residu P dan K di dalam tanah dari pemupukan atau K dari air irigasi masih tersimpan di dalam tanah. Selanjutnya sumber P dan K tanah juga dapat berasal dari mineral yang mengandung P (misal apatit) dan mineral yang mengandung K (misal mika). Tanah Vertisols mengandung K-potensial paling tinggi dibandingkan Inceptisols dan Alfisols karena Vertisols umumnya mengandung mineral liat smektit yang merupakan hasil pelapukan dari mika atau plagioklas yang banyak mengandung K.

Karakteristik mineral liat tanah

Hasil analisis kualitatif mineral fraksi liat menunjukkan bahwa tanah Inceptisols mengandung mineral liat smektit dan kaolinit sedikit sampai sedang serta kuarsa sangat sedikit hingga sedikit. Tanah Vertisols mengandung mineral liat smektit sangat banyak, kaolinit sedikit, dan kuarsa sangat sedikit. Sementara itu tanah Alfisols mengandung mineral liat smektit dan kaolinit sedang sampai banyak serta mengandung kuarsa sangat sedikit (Tabel 3). Dengan demikian tanah Vertisols didominasi oleh mineral liat smektit sedangkan tanah Alfisols dan Inceptisols didominasi oleh smektit dan kaolinit. Hasil ini sejalan dengan penelitian Subagyo (1983) yang menyatakan bahwa fraksi liat Vertisols Ngawi didominasi oleh mineral liat smektit dan sedikit kaolinit (*disordered kaolinite*).

Mineral liat smektit ditunjukkan dengan adanya puncak difraksi 14,91 Å, kaolinit 7,22 dan 3,58 Å, dan kuarsa 4,26 dan 3,34 Å pada perlakuan penjenjuran dengan Mg²⁺. Puncak difraksi smektit meningkat menjadi 18,57 Å pada perlakuan Mg²⁺ + gliserol, menurun menjadi 12,32 Å pada perlakuan

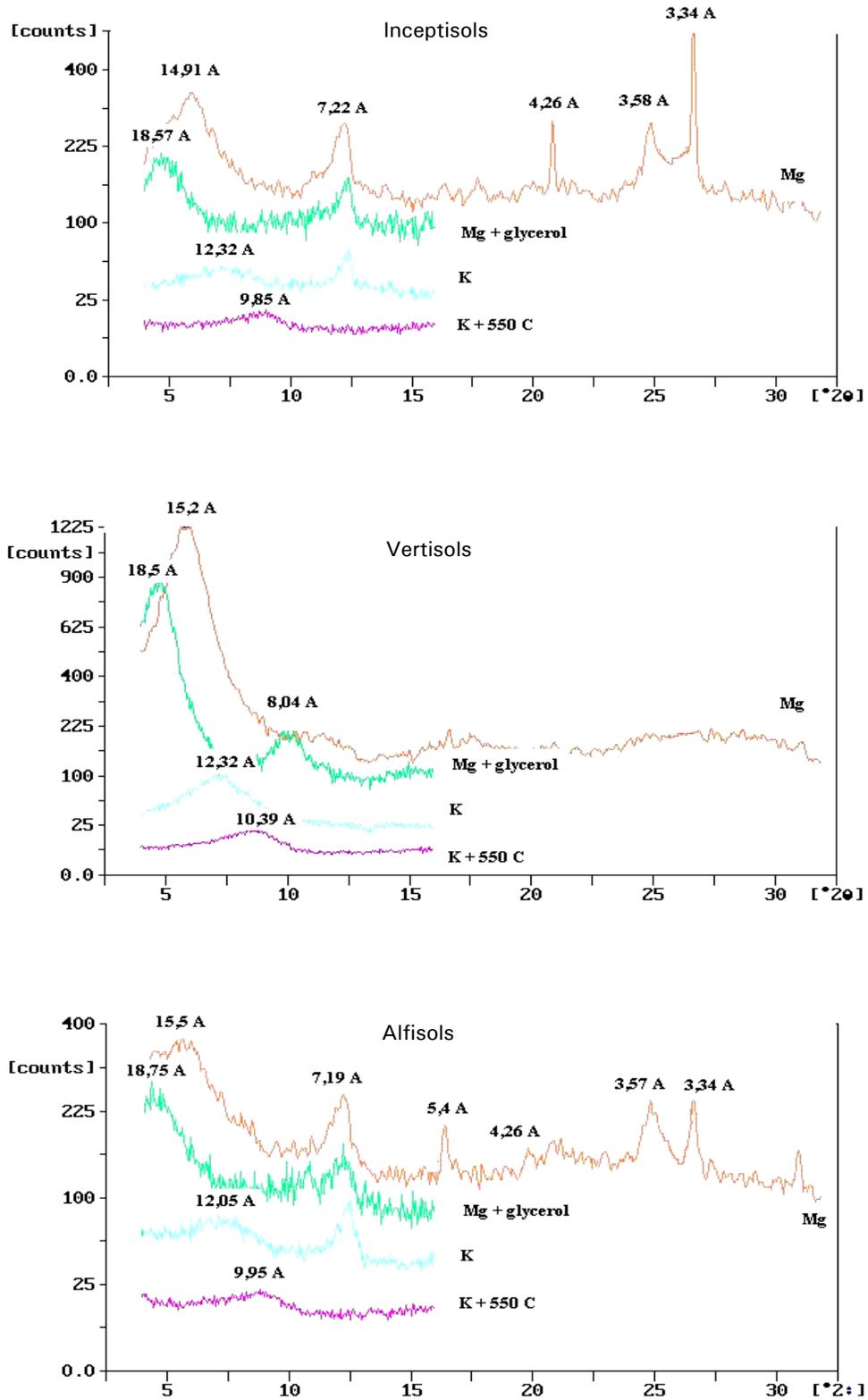
penjenjuran dengan K⁺, dan turun lagi menjadi 9,85 Å pada perlakuan penjenjuran dengan K⁺ dan pemanasan hingga 550°C. Sementara itu difraksi kaolinit dan kuarsa tidak berubah akibat perlakuan Mg²⁺ + gliserol dan perlakuan penjenjuran dengan K⁺, tapi puncak difraksinya hilang pada perlakuan pemanasan hingga 550°C (Gambar 1). Apabila luas trapesium di bawah *difraktogram* smektit yang memiliki puncak pada 14,91 Å digunakan untuk menduga kuantitas smektit, maka kadar smektit dalam tanah dari tinggi ke rendah adalah Vertisols > Alfisols > Inceptisols. Mineral kuarsa di dalam fraksi liat adalah sebagai mineral primer, karena mineral kuarsa tergolong mineral tahan lapuk. Kuarsa di dalam fraksi liat ini diduga berasal dari mineral primer yang berukuran halus seperti fraksi liat (Prasetyo *et al.*, 2005).

Tabel 3. Komposisi mineral liat lapisan atas tanah-tanah yang diambil dari Jawa

Table 3. Clay mineral composition of topsoils taken from Java

Kode contoh	Tanah	Smektit	Kaolinit	Kuarsa
NA-39	Inceptisols	++	++	+
NA-10	Inceptisols	+	+	(+)
NA-1	Inceptisols	+	+	+
DE-28	Inceptisols	++	++	+
B2-1	Vertisols	++++	+	(+)
B3-1	Vertisols	++++	-	-
B2-2	Vertisols	++++	+	(+)
B3-2	Vertisols	++++	-	-
DE-34	Vertisols	++++	-	-
DE-36	Vertisols	++++	+	(+)
NA-5	Vertisols	++++	-	-
NA-6	Vertisols	++++	+	(+)
B1-1	Alfisols	+++	++	(+)
B4-1	Alfisols	++	++++	(+)
B1-2	Alfisols	+++	++	(+)
B4-2	Alfisols	++	++++	(+)
NA-3	Alfisols	+++	+++	(+)
NA-4	Alfisols	+++	+++	(+)
NA-2	Alfisols	++	++	(+)
NA-37	Alfisols	++	+++	(+)

++++ = sangat banyak, +++ = banyak, ++ = sedang, + = sedikit, (+) sangat sedikit, - = tidak ada

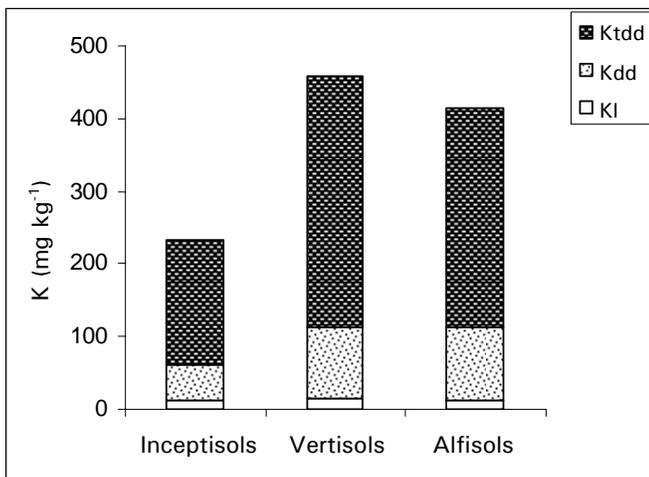


Gambar 1. Difraktogram sinar X dari mineral liat tanah Inceptisols, Vertisols, dan Alfisols dari Jawa
 Figure 1. X-ray diffractogram of topsoils of Inceptisols, Vertisols, dan Alfisols from Jawa

Kadar smektit dalam fraksi liat tanah berkaitan erat dengan nilai KTK tanah, dimana semakin tinggi kadar smektit maka semakin tinggi pula nilai KTK tanahnya. Pada Tabel 2 tampak bahwa tanah Vertisols yang mengandung smektit lebih tinggi mempunyai KTK yang jauh lebih tinggi dibandingkan Alfisols dan Inceptisols yang mengandung smektit lebih sedikit. Fenomena ini menunjukkan bahwa muatan negatif yang berasal dari *permanent charge* pada smektit memberikan kontribusi yang signifikan terhadap KTK tanah. Muatan ini berasal dari substitusi isomorfik yang menghasilkan kelebihan muatan negatif baik pada lembar Si-tetrahedral maupun Al-oktahedral.

Fraksionasi K tanah

Kadar K total tanah dari tinggi ke rendah berturut-turut adalah Vertisols > Alfisols > Inceptisols. Bentuk K_i , K_{dd} , dan K_{td} tanah dari tinggi ke rendah mempunyai urutan yang sama dengan K_t tanah. Kadar K_i adalah 11, 14, dan 13; K_{dd} 50, 98, dan 99, dan K_{td} 171, 347, dan 303 mg kg^{-1} berturut-turut untuk Inceptisols, Vertisols, dan Alfisols (Gambar 2). Kadar K di dalam tanah dipengaruhi oleh bahan



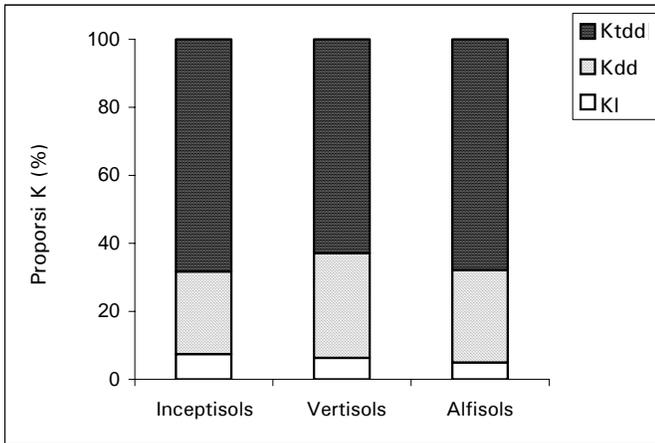
Gambar 2. Komposisi bentuk-bentuk kalium lapisan atas tanah-tanah Inceptisols, Vertisols, dan Alfisols dari Jawa

Figure 2. Potassium fraction composition of topsoils of Inceptisols, Vertisols, and Alfisols from Java

induk tanah tersebut, dimana Inceptisols berasal dari bahan endapan liat, Vertisols dari endapan liat berkapur, dan Alfisols dari batu kapur (LPT, 1966). Hal ini tercermin dari hasil analisis susunan mineral fraksi pasir dan debu dari lapisan atas contoh tanah perwakilan yang diambil dari Pati (Inceptisols), Cilacap dan Ngawi (Vertisols), Bogor dan Blora (Alfisols). Susunan mineral tanah Inceptisols didominasi oleh mineral kuarsa, Vertisols didominasi oleh asosiasi labradorit, lapukan mineral, hornblende hijau, hiperstin, dan kuarsa, sedangkan Alfisols didominasi oleh kuarsa, fragmen batuan, dan sanidin (Nursyamsi, 2007). Tanah Vertisols meskipun berasal dari bahan endapan tapi lapisan atas tanahnya mendapat pengkayaan dari bahan volkan intermedier. Pengkayaan bahan volkan pada Vertisols Ngawi diduga berasal dari Gunung Lawu (Prasetyo *et al.*, 2007). Diantara mineral tersebut di atas, sumber utama kalium tanah adalah labradorit (Vertisols) dan sanidin (Alfisols).

Selain faktor tersebut di atas, kadar K tanah juga sejalan dengan hasil analisis mineral fraksi liat dengan alat XRD. Berdasarkan analisis tersebut, kadar mineral liat smektit di dalam fraksi liat tanah berturut-turut dari tinggi ke rendah adalah Vertisols > Alfisols > Inceptisols (Tabel 3). Dengan kata lain kadar K tanah tergantung jumlah mineral liat smektit yang berada di dalam tanah. Smektit dapat memfiksasi K di ruang antar lapisan mineral tersebut dimana K terfiksasi tersebut merupakan K cadangan yang dapat tersedia bagi tanaman melalui proses pelepasan (*release*) dan desorpsi (*desorption*).

Proporsi bentuk K dari rendah ke tinggi di ketiga tanah yang diteliti mempunyai urutan yang sama, yaitu : $K_i < K_{dd} < K_{td}$. Bentuk K_i berkisar antara 5-7%, K_{dd} 24-31%, dan K_{td} 63-68% (Gambar 3). Apabila diasumsikan bentuk K_i dan K_{dd} disebut sebagai K tersedia dan K_{td} sebagai K tidak tersedia maka dapat dikatakan bahwa sebagian besar K di dalam ketiga tanah yang diteliti tidak tersedia bagi tanaman. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Setyorini *et al.* (2005) yang mengatakan bahwa tanaman jagung respon terhadap pemupukan K pada tanah Alfisols dan Vertisols, walaupun kadar K total di kedua tanah tersebut tinggi.



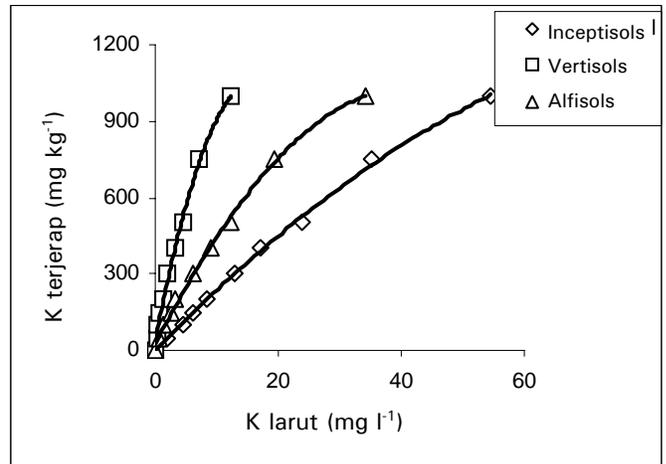
Gambar 3. Proporsi bentuk-bentuk kalium lapisan atas tanah-tanah Inceptisols, Vertisols, dan Alfisols dari Jawa

Figure 3. Potassium fraction proportion of topsoils of Inceptisols, Vertisols, and Alfisols from Java

Jerapan K tanah

Kurva jerapan K di ketiga tanah yang diteliti sangat beragam (Gambar 4). Kurva tersebut dari kiri ke kanan menunjukkan tingkat jerapan tanah yang bersangkutan terhadap K. Jerapan K tanah dari tinggi ke rendah berturut-turut adalah Vertisols > Alfisols > Inceptisols. Fenomena ini erat kaitannya dengan sifat *inherent* dari ketiga tanah tersebut yang berbeda. Karakteristik tanah yang dapat berpengaruh terhadap jerapan K antara lain : tekstur, KTK, dan kadar liat smektit. Semua variabel tersebut berbeda antar tanah yang satu dengan yang lainnya sehingga menghasilkan kurva jerapan yang berbeda pula seperti yang telah diuraikan di atas.

Kurva jerapan K tanah dapat digunakan sebagai petunjuk kemampuan tanah dalam menyediakan hara yang bersangkutan bagi tanaman. Selain faktor intensitas (I) dan kuantitas (Q), daya sangga juga dapat mempengaruhi penyediaan K suatu tanah. Daya sangga (DS) adalah perubahan faktor kuantitas (K terjerap) per satuan perubahan dalam intensitas (K larut) yang dinyatakan dengan rumus : $DS = \partial Q / \partial I$ (Widjaja-Adhi dan Sudjadi, 1987). Karena semua kurva jerapan K tersebut di atas berbentuk kuadratik maka daya sangga tanah terhadap K berubah seiring



Gambar 4. Kurva jerapan kalium lapisan atas tanah Inceptisols, Vertisols, dan Alfisols dari Jawa

Figure 4. Potassium sorption curve of topsoils of Inceptisols, Vertisols, and Alfisols from Java

dengan berubahnya intensitas K di dalam larutan tanah. Namun demikian daya sangga ini juga dapat diduga dari kemiringan kurva, dimana kurva yang landai daya sangganya rendah, sebaliknya kurva yang curam memiliki daya sangga tinggi. Dengan demikian daya sangga ketiga tanah yang diteliti dari tinggi ke rendah adalah Vertisols > Alfisols > Inceptisols. Daya sangga ini menunjukkan tingkat kemampuan tanah untuk selalu mensuplai K ke dalam larutan tanah bila konsentrasi K dalam larutan menurun akibat diserap tanaman atau tercuci.

Batas kritis hara K tanah-tanah di Indonesia secara empiris adalah 0,20 me 100g⁻¹ (Puslittan, 1983), sedangkan di Ultisols Lampung dan Oxisols Sitiung untuk jagung masing-masing 0,41 dan 0,72 me 100g⁻¹ dengan pengekstrak NH₄OAc pH 7,0 (Sulaeman *et al.*, 2000). Bila nilai 0,20 me 100g⁻¹ tanah (setara dengan 6 mg l⁻¹ larutan) dianggap sebagai kebutuhan K eksternal tanaman maka nilai daya sangga ketiga tanah yang diteliti dapat dihitung dan hasilnya disajikan pada Tabel 4. Daya sangga tanah Vertisols sebesar 103 mg l⁻¹, dua kali lipat lebih besar dari tanah Alfisols yang besarnya 44 mg l⁻¹, dan empat kali lipat lebih besar dari tanah Inceptisols yang besarnya 24 mg l⁻¹. Dengan demikian kemampuan tanah Vertisols untuk selalu mensuplai K ke

Tabel 4. Model persamaan kurva jerapan ($Y = aX^2 + bX + c$) dan daya sangga K tanah pada $I = 6 \text{ mg l}^{-1}$ *Table 4. Equation model of sorption curve ($Y = aX^2 + bX + c$) and soil K buffering capacity at $I = 6 \text{ mg l}^{-1}$*

Tanah	a	b	c	R ²	Daya sangga mg l ⁻¹
Inceptisols	-0,119	24,892	0,056	0,999	24,176
Vertisols	-3,961	127,020	34,758	0,996	103,252
Alfisols	-0,565	47,796	24,974	0,998	44,409

$Y = K$ terjerap (*quantity factor* = Q), $X = K$ larut (*intensity factor* = I), a, b, dan c = konstanta, R² = koefisien determinan

Tabel 5. Kisaran variabel jerapan kalium lapisan atas tanah-tanah Inceptisols, Vertisols, dan Alfisols dari Jawa*Table 5. Potassium sorption variables of topsoils of Inceptisols, Vertisols, and Alfisols from Java*

Variabel jerapan K tanah	Inceptisols	Vertisols	Alfisols
Konstanta (m)	0,0680 ± 0,0076	0,0379 ± 0,0042	0,0379 ± 0,0046
Koefisien arah (n)	0,0018 ± 0,0002	0,0007 ± 0,0002	0,0012 ± 0,0003
Koefisien determinan (R ²)	0,60 ± 0,11	0,50 ± 0,16	0,63 ± 0,13
Jerapan maksimum (b)	651 ± 128	1947 ± 1111	979 ± 133
Konstanta energi ikatan (k)	0,0381 ± 0,0016	0,0652 ± 0,0103	0,0701 ± 0,0072
Jumlah contoh	13	47	31

$Y = m + nX$ setara dengan $C(x \text{ m})^{-1} = 1 kb^{-1} + C b^{-1}$; dimana m = konstanta, n = koefisien arah, C = K terlarut (ppm K), $x \text{ m}^{-1} = K$ terjerap (ppm K), b = jerapan K maksimum (ppm K), dan k = konstanta energi ikatan K

dalam larutan tanah paling baik dibandingkan Alfisols dan Inceptisols.

Jerapan maksimum dan konstanta energi ikatan ketiga tanah yang diteliti telah dihitung dengan menggunakan model Langmuir menurut metode Fox dan Kamprath (1970) dan hasilnya disajikan pada Tabel 5. Rata-rata jerapan maksimum tanah Vertisols (1.947 mg kg⁻¹), dua kali lipat tanah Alfisols (979 mg kg⁻¹), dan sekitar tiga kali lipat tanah Inceptisols (651 mg kg⁻¹). Sementara itu konstanta energi ikatan tanah Vertisols (0,0652) hampir sama dengan Alfisols (0,0701) dan sekitar dua kali lipat tanah Inceptisols (0,0381). Peubah jerapan maksimum menunjukkan tingkat kemampuan tanah menyimpan hara dalam koloid tanah, sedangkan konstanta energi ikatan menunjukkan tingkat kekuatan koloid tanah menjerap hara yang berbanding

terbalik dengan tingkat kemudahan hara untuk lepas ke dalam larutan tanah.

Sifat-sifat tanah yang berpengaruh terhadap ketersediaan K tanah

Apabila ketersediaan K tanah diduga dengan peubah jerapan maksimum (b), konstanta energi ikatan (k), daya sangga pada $I = 6 \text{ mg l}^{-1}$ (DS), dan kadar K (K_i , K_{dd} , K_{td} , dan K_t) tanah maka kadar liat, C-organik, dan KTK tanah umumnya berkorelasi positif nyata dengan salah satu peubah tersebut. Kadar liat dan C-organik tanah keduanya berkontribusi terhadap KTK tanah yang ditunjukkan oleh adanya korelasi yang sangat nyata antara kedua variabel tersebut dengan KTK tanah. Selanjutnya ketiga peubah tersebut berkorelasi positif nyata dengan jerapan maksimum, daya sangga, dan K_{dd} ,

Tabel 6. Matrik korelasi antara beberapa sifat tanah dengan beberapa peubah ketersediaan K tanah Inceptisols

Table 6. Correlation matrix between soil characteristics and the variables of soil K availability of Inceptisols

Variabel	Liat	C-org	KTK	b	k	DS	K _i	K _{dd}	K _{tdd}	K _t
Liat	1,000	0,900**	0,662*	0,706**	0,269	0,772**	-0,073	0,703**	0,391	0,551
C-org		1,000	0,703**	0,732**	0,327	0,770**	0,109	0,661*	0,431	0,546
KTK			1,000	0,907**	0,231	0,806**	-0,009	0,949**	0,810**	0,903**
b				1,000	0,356	0,888**	-0,092	0,838**	0,776**	0,833**
k					1,000	0,552*	-0,526	0,182	0,031	0,068
DS						1,000	-0,341	0,781**	0,667**	0,729**
K _i							1,000	-0,079	0,040	0,039
K _{dd}								1,000	0,802**	0,914**
K _{tdd}									1,000	0,974**
K _t										1,000

N = 13, to,05 = 0,553, to,01 = 0,684, * = nyata pada taraf uji 5%, dan ** = nyata pada taraf uji 1%

Tabel 7. Matrik korelasi antara beberapa sifat tanah dengan beberapa peubah ketersediaan K tanah Vertisols

Table 7. Correlation matrix between soil characteristics and the variables of soil K availability of Vertisols

Variabel	Liat	C-org	KTK	b	k	DS	K _i	K _{dd}	K _{tdd}	K _t
Liat	1,000	-0,123	0,517**	-0,156	0,300	0,496**	-0,153	-0,028	0,102	0,089
C-org		1,000	-0,343*	-0,189	-0,092	-0,475**	0,200	-0,003	0,181	0,178
KTK			1,000	0,055	-0,016	0,477**	-0,036	0,238	-0,056	-0,024
b				1,000	-0,289*	0,206	0,590**	0,161	-0,064	-0,044
k					1,000	0,334*	-0,272	-0,220	-0,010	-0,031
DS						1,000	-0,164	-0,056	-0,076	-0,084
K _i							1,000	0,684**	0,121	0,223
K _{dd}								1,000	0,135	0,273
K _{tdd}									1,000	0,990**
K _t										1,000

N = 47, to,05 = 0,288, to,01 = 0,372, * = nyata pada taraf uji 5%, dan ** = nyata pada taraf uji 1%

serta KTK tanah berkorelasi positif nyata dengan K_{tdd} dan K_i tanah Inceptisols. Diantara bentuk K tanah ternyata K_{dd} dan K_{tdd} memegang peranan penting dalam mengendalikan jerapan maksimum dan daya sangga K tanah Inceptisols. Hal ini ditunjukkan dengan adanya korelasi yang nyata antara kedua bentuk K tanah dengan kedua peubah ketersediaan K tanah tersebut (Tabel 6).

Berbeda dengan tanah Inceptisols, pada tanah Vertisols hanya kadar liat yang berkontribusi terhadap KTK tanah yang ditunjukkan dengan adanya korelasi positif nyata antara kadar liat dan KTK tanah. Selanjutnya kedua peubah kadar liat dan KTK

tanah ini berkorelasi positif sangat nyata dengan daya sangga tanah. Sementara itu kadar C-organik tanah berkorelasi negatif nyata dengan KTK dan daya sangga tanah (Tabel 7). Fenomena ini menunjukkan bahwa bahan organik tanah justru menurunkan KTK tanah sehingga menurunkan pula daya sangga tanah. Ada kemungkinan bahan organik tanah ini menutupi permukaan kompleks jerapan koloid tanah sehingga mengurangi jumlah muatan negatif tanah.

Seperti halnya tanah Inceptisols, pada Alfisols kadar liat dan C-organik berkontribusi terhadap KTK tanah. Selanjutnya kadar C-organik dan KTK berperan dalam mengendalikan daya sangga tanah yang

Tabel 8. Matrik korelasi antara beberapa sifat tanah dengan beberapa peubah ketersediaan K tanah Alfisols*Table 8. Correlation matrix between soil characteristics and the variables of soil K availability of Alfisols*

Variabel	Liat	C-org	KTK	b	k	DS	K _i	K _{dd}	K _{tdd}	K _t
Liat	1,000	-0,046	0,425*	0,328	0,017	0,082	-0,212	0,139	0,153	0,171
C-org		1,000	0,377*	-0,020	0,484*	0,532**	-0,228	-0,099	-0,065	-0,089
KTK			1,000	0,207	0,272	0,572**	-0,233	0,042	0,111	0,110
b				1,000	-0,180	0,051	0,122	0,098	0,354*	0,362*
k					1,000	0,790**	-0,228	-0,215	-0,110	-0,156
DS						1,000	-0,304	-0,059	-0,051	-0,069
K _i							1,000	0,053	0,105	0,134
K _{dd}								1,000	0,107	0,324
K _{tdd}									1,000	0,975**
K _t										1,000

N = 31, $t_{0,05} = 0,349$, $t_{0,01} = 0,449$, * = nyata pada taraf uji 5%, dan ** = nyata pada taraf uji 1%

Tabel 9. Matrik korelasi antara beberapa sifat tanah dengan beberapa peubah ketersediaan K tanah Inceptisols, Vertisols, dan Alfisols*Table 9. Correlation matrix between soil characteristics and the variables of soil K availability of Inceptisols, Vertisols, and Alfisols*

Variabel	Liat	C-org	KTK	b	k	DS	K _i	K _{dd}	K _{tdd}	K _t
Liat	1,000	-0,130	0,668**	0,296**	0,052	0,306*	-0,234*	0,320*	0,146	0,165
C-org		1,000	-0,007	-0,049	0,422**	0,412**	-0,103	0,119	0,040	0,051
KTK			1,000	0,147	0,184	0,586**	-0,081	0,280*	-0,047	-0,009
b				1,000	-0,273	0,138	0,303**	0,417**	0,150	0,183
k					1,000	0,572**	-0,234*	-0,077	-0,056	-0,064
DS						1,000	-0,217*	0,097	0,074	0,077
K _i							1,000	0,623**	0,061	0,167
K _{dd}								1,000	0,308**	0,441**
K _{tdd}									1,000	0,989**
K _t										1,000

N = 91, $t_{0,05} = 0,205$ dan $t_{0,01} = 0,207$, * = nyata pada taraf uji 5%, dan ** = nyata pada taraf uji 1%

ditunjukkan oleh adanya korelasi positif sangat nyata antar dua peubah tersebut dengan daya sangga tanah. Selain itu, konstanta energi ikatan juga berkorelasi positif nyata dengan daya sangga tanah (Tabel 8). Apabila semua contoh di ketiga jenis tanah tersebut digabung maka tampak bahwa hanya kadar liat yang berkontribusi terhadap KTK tanah sedangkan kadar C-organik tanah tidak. Selanjutnya kadar liat, C-organik, dan KTK tanah nyata mengendalikan ketersediaan K tanah yang ditunjukkan oleh adanya korelasi positif sangat nyata antar ketiga sifat tanah tersebut dengan daya sangga tanah (Tabel 9).

Muatan negatif koloid tanah berperan dalam mengendalikan ketersediaan K di ketiga tanah yang diteliti (Tabel 6-9). Sumber muatan koloid tanah terdiri atas muatan permanen (*permanent charge*) dan muatan tergantung pH (*pH dependent charge* atau *variable charge*). Muatan permanen berasal dari substitusi isomorfik pada permukaan koloid *siloxane* (Si-O-Si) yang terdapat pada mineral liat smektit (2:1). Sementara itu muatan tergantung pH terjadi pada permukaan koloid *oxyhidroxy* (O-Al-OH), *silanol* (-Si-OH), *aluminol* (-Al-OH), *ferrol* (-Fe-OH) yang terdapat pada mineral liat kaolinit (1:1), hidroksida, dan amorf. Selain itu muatan tergantung pH dapat

juga berasal dari koloid organik berupa gugus fungsional karboksilat (-COOH), fenol hidroksida, amin (-NH₂), dan lain-lain (Tan, 1998).

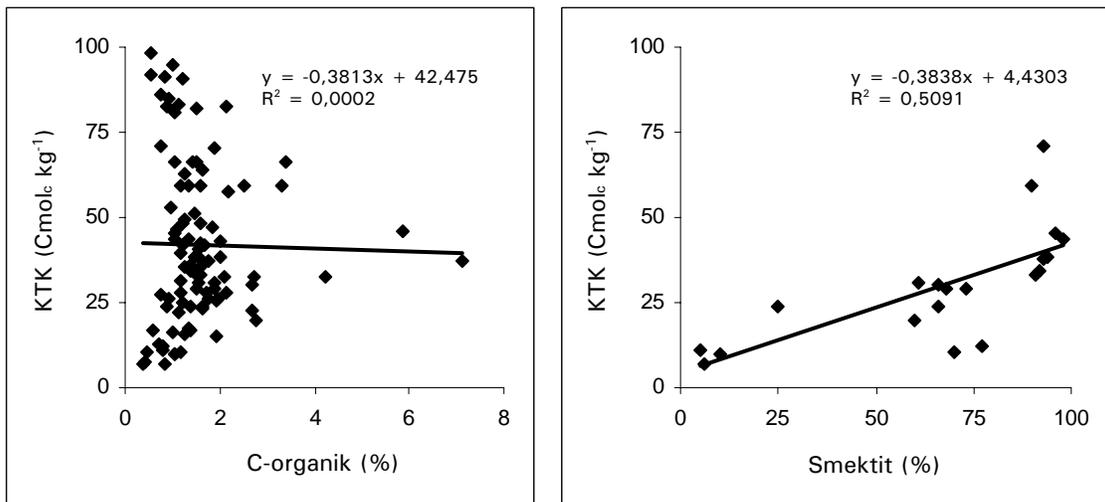
Kadar C-organik di ketiga tanah yang diteliti umumnya rendah, yakni masing-masing hanya 1,10% di Inceptisols, 1,40% di Vertisols, dan 2,04% di Alfisols (Tabel 2). Sumber muatan variabel lainnya, yakni kaolinit dalam fraksi liat tanah Inceptisols sedikit hingga sedang, Vertisols sangat sedikit, dan Alfisols sedang hingga sangat banyak. Sementara itu sumber muatan permanen, yakni smektit dalam fraksi liat tanah Inceptisols sedikit sampai sedang, Vertisols sangat banyak, dan Alfisols sedang hingga banyak. (Tabel 3). Dengan demikian sumber muatan variabel dan permanen di tanah Inceptisols dan Alfisols berkontribusi terhadap KTK tanah sedangkan di Vertisols hanya sumber muatan permanen yang berkontribusi terhadap KTK tanah. Selanjutnya kontribusi muatan permanen terhadap muatan negatif tanah jauh lebih besar dibandingkan muatan variabel. Hal ini ditunjukkan dengan nilai KTK tanah Vertisols jauh lebih tinggi dibandingkan Alfisols dan Inceptisols, yakni berturut-turut 56,38; 30,83; dan 16,92 Cmol_e kg⁻¹ (Tabel 2).

Hubungan antara kadar smektit dengan beberapa sifat tanah

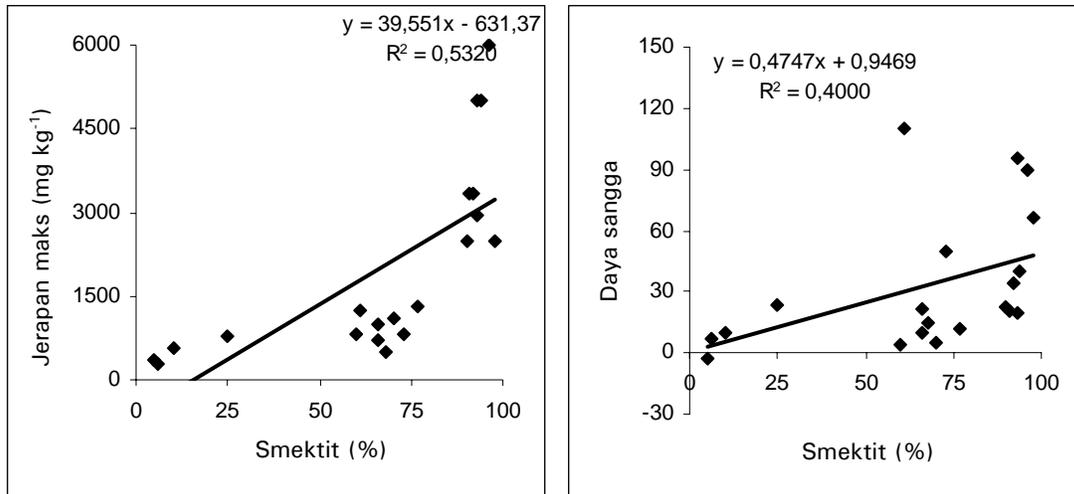
Seperti telah dikemukakan sebelumnya bahwa smektit yang merupakan sumber muatan permanen

sangat berperan dalam mengendalikan ketersediaan K tanah. Hubungan antara kadar smektit dengan KTK yang positif ($R^2 = 0,5091$) menunjukkan bahwa smektit berkontribusi signifikan terhadap jumlah muatan negatif tanah. Sebaliknya hubungan antara kadar C-organik dengan KTK tanah yang tidak nyata ($R^2 = 0,0002$) menunjukkan bahwa bahan organik tidak memberikan kontribusi yang signifikan terhadap muatan negatif tanah. Fenomena ini membuktikan bahwa pada tanah-tanah yang didominasi oleh mineral liat smektit (Vertisols), sumber muatan permanen lebih penting daripada sumber muatan variabel dalam mengendalikan KTK tanah. Pada tanah yang didominasi oleh sumber muatan variabel seperti tanah Ultisols di daerah Sasamba, Kaltim (Prasetyo *et al.*, 2001) dan Ultisols dari bahan vulkan andesitik di daerah Ungaran, Jateng (Prasetyo *et al.*, 2005) bahan organik memberikan kontribusi yang signifikan terhadap muatan negatif tanah.

Hubungan antara kadar smektit dengan daya sangga dan jerapan maksimum K tanah positif nyata dengan nilai koefisien determinan masing-masing 0,4000 dan 0,5320 (Gambar 6). Hal ini menunjukkan bahwa mineral liat smektit selain berperan terhadap muatan negatif tanah juga dapat mengendalikan daya sangga dan jerapan maksimum K tanah. Dengan demikian smektit memegang peranan penting dalam penyediaan K untuk tanaman pada ketiga tanah yang diteliti.



Gambar 5. Hubungan antara kadar C-organik dan smektit dengan KTK tanah
Figure 5. Relationship between soil organic-C and smectite with soil CEC



Gambar 6. Hubungan antara kadar smektit dengan jerapan maksimum dan daya sangga K tanah

Figure 6. Relationship between soil smectite with soil K maximum sorption and buffering capacity

Pengelolaan K di tanah-tanah yang didominasi smektit

Hasil analisis fraksionasi K tanah menunjukkan bahwa sebagian besar K di dalam ketiga tanah yang diteliti berada dalam bentuk tidak dapat dipertukarkan sehingga tidak tersedia bagi tanaman (Gambar 2 dan 3). Selain itu, tanah-tanah yang didominasi smektit mempunyai karakteristik : tekstur tanah liat, reaksi tanah netral-alkalin, C dan N-organik rendah, KTK dan KB rendah-tinggi (Tabel 2), serta jerapan dan daya sangga tanah terhadap K tinggi (Tabel 4). Untuk meningkatkan efisiensi pemupukan K maka perlu dilakukan berbagai upaya agar ketersediaan K bagi tanaman meningkat.

Meskipun hanya bentuk K_i dan K_{dd} saja yang cepat tersedia bagi tanaman, namun sesungguhnya bentuk K_{td} yang meliputi K-terfiksasi dan K-struktural dapat dibuat menjadi tersedia bagi tanaman. Telah dikemukakan sebelumnya bahwa bentuk K tersedia hanya sekitar 29-38% dari total K yang terdapat di dalam tanah (Gambar 2 dan 3). Dengan demikian terdapat peluang yang sangat besar untuk memanen K tanah, yaitu sekitar 62-71% dari total K tanah. Apabila peluang ini dapat dimanfaatkan, sebagian atau seluruh kebutuhan K tanaman dapat

dipenuhi dari tanah sehingga pemupukan menjadi efisien.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa asam organik dari eksudat akar atau dari aktivitas mikroba di rizosfer mempunyai peranan yang sangat penting dalam meningkatkan ketersediaan K tanah (Kim *et al.*, 2004). Zhu dan Luo (1993) melaporkan bahwa asam oksalat dan sitrat dapat melepaskan K_{td} menjadi K_{dd} dan K_i pada tanah-tanah yang berbauhan induk batu kapur. Hal yang sama juga dilaporkan oleh Song dan Huang (1988), dimana K_{td} dari posisi dalam (*inner position*) mineral yang mengandung K (biotit, muskovit, mikroklin, dan ortoklas) dapat dilepaskan oleh asam oksalat dan asam sitrat. Penelitian Sparks dan Leibhardt (1981) dengan menggunakan tanah-tanah dari *Middle Atlantic Coastal Region*, USA yang bertekstur kasar dan mempunyai K total tinggi menunjukkan bahwa pemberian asam oksalat 0,01 M dapat mengeluarkan K dari struktur mineral feldspar selama inkubasi 30 hari. Dengan demikian tanaman yang dapat mengeluarkan asam organik tinggi dapat dikembangkan di tanah-tanah yang didominasi smektit. Tanaman tersebut antara lain adalah padi (Syarif, 2005), jagung, dan padi (Nursyamsi *et al.*, 2002).

Selain asam organik sejumlah kation juga berperan dalam meningkatkan ketersediaan hara kalium di tanah-tanah yang didominasi mineral liat tipe 2:1 atau mineral yang banyak mengandung K. Kation Ca dan Na dapat menggantikan posisi kalium di *inter-layer* mineral muskovit akibat pelapukan. Demikian pula kation amonium dapat melepaskan K terfiksasi menjadi K tersedia (Evangelou and Lumbanraja, 2002). Penelitian yang dilaksanakan di tanah Vertisols di lahan perkebunan tebu menunjukkan bahwa pemberian Na dari garam dapur (NaCl) dapat mengurangi kebutuhan pupuk K tanaman tebu (Ismail, 1997). Penelitian lainnya menunjukkan bahwa pemberian Na dari *sodium tetraphenyl boron* dapat melepaskan K terfiksasi menjadi K tersedia pada tanah merah (Alfisols), hitam (Vertisols), dan aluvial (Inceptisols) (Dhillon and Dhillon, 1992). Selain kation tersebut di atas, Fe juga berpotensi untuk membebaskan K terfiksasi menjadi tersedia karena Fe mempunyai jerapan yang lebih tinggi daripada K. Selain itu Fe juga merupakan hara mikro yang diperlukan tanaman yang sering menjadi kendala pertumbuhan tanaman di tanah alkalin, seperti tanah yang didominasi smektit.

KESIMPULAN

1. Kadar K_t , K_{dd} , K_{td} , dan K_f tanah dari tinggi ke rendah berturut-turut adalah Vertisols > Alfisols > Inceptisols. Proporsi bentuk K dari rendah ke tinggi di ketiga tanah yang diteliti mempunyai urutan yang sama, yaitu : $K_t < K_{dd} < K_{td}$. Meskipun K_t tanah tinggi tapi sebagian besar K di dalam ketiga tanah yang diteliti berada dalam bentuk yang tidak dapat dipertukarkan sehingga tidak tersedia bagi tanaman.
2. Daya sangga dan jerapan maksimum K di ketiga tanah yang diteliti dari tinggi ke rendah adalah Vertisols > Alfisols > Inceptisols. Sementara itu konstanta energi ikatan tanah Vertisols hampir sama dengan Alfisols dan sekitar dua kali lipat tanah Inceptisols.
3. Liat, C-organik, dan KTK tanah umumnya berpengaruh nyata terhadap peubah ketersediaan K tanah. Mineral liat smektit berkontribusi signifikan terhadap muatan negatif tanah sehingga memegang peranan penting dalam mengendalikan daya sangga dan jerapan maksimum K tanah.
4. Untuk meningkatkan efisiensi pupuk K, tanaman yang dapat menghasilkan eksudat asam organik tinggi dapat dikembangkan di tanah-tanah yang didominasi smektit. Selain itu penambahan kation Na, NH_4 , dan Fe juga perlu dipertimbangkan dalam pengelolaan K tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Bajwa, M.I. 1987.** Comparative ammonium and potassium fixation by some wetland rice soil clays as affected by mineralogical composition and treatment sequence. Potash Review No. 1/1987. International Potash Institute, Switzerland.
- Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi. 2003.** Atlas Sumberdaya Iklim Pertanian Indonesia, skala 1:1.000.000. Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian. Bogor.
- Borchardt, G. 1989.** Smectites. Pp. 675-727. *In* Minerals in Soil Environments. Second Edition. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.
- Brady, N.C. 1984.** The Nature and Properties of Soils. Ninth Edition. Mac Millan Publishing Company, New York.
- Dhillon, S.K. and K.S. Dhillon. 1992.** Kinetics of release of potassium by sodium tetraphenyl boron from some topsoil samples of Red (Alfisols), Black (Vertisols), and Alluvial (Inceptisols and Entisols) soils of India. Fertilizer News 32(2):135-138.
- Evangelou, V.P. and J. Lumbanraja. 2002.** Ammonium-potassium-calcium exchange on vermiculite and hydroxy-aluminum vermiculite. SSSAJ 66:445-455.

- Fox, R.L. and E.J. Kamprath. 1970.** Phosphate sorption isotherm for evaluating the phosphate requirement of soils. Soil Science Society of America Proceeding 34:902-907.
- Ghousikar, C.P. and D.W. Kendre. 1987.** Potassium supplying status of some soils of Vertisol type. Potash Review No. 5/1987. International Potash Institute, Switzerland.
- Ismail, I. 1997.** The Role of Na and Partial Substitution of KCl by NaCl on Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) Growth and Yield, and Its Effect Towards Soil Chemical Properties. Disertasi Fakultas Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Kim, J., H. Dong, J. Seabaugh, S.W. Newell, and D.D. Ebert. 2004.** Role of microbes in smectite-to-illite reaction. Science 303:830-832.
- Lembaga Penelitian Tanah. 1966.** Peta Tanah Tinjau Provinsi Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur, Skala 1:250.000. Lembaga Penelitian Tanah, Bogor.
- Murthy, A.S.P., S.K.N. Nath, and D.P. Viswanath. 1987.** Mineralogy and chemistry of potassium in Vertisols of India. Potash Review No. 6/1987. International Potash Institute, Switzerland.
- Nursyamsi, D., M. Osaki, and T. Tadano. 2002.** Mechanism of aluminum toxicity avoidance in tropical rice (*Oryza sativa*), maize (*Zea mays*), and soybean (*Glycine max*). Indonesian Journal of Agricultural Science 5(1):12-24.
- Nursyamsi, D. 2007.** Pelepasan Kalium Terfiksasi dengan Penambahan Asam Oksalat dan Kation untuk Meningkatkan Kalium Tersedia bagi Tanaman pada Tanah-Tanah yang Didominasi Mineral Liat Smektit. Disertasi Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Prasetyo, B.H., N. Suharta, and Hikmatullah. 2001.** Chemical and mineralogical properties of Ultisols of Sasamba Area, East Kalimantan. Indonesian Jurnal Agricultural Science, Agency for Agricultural Research and Development 2(2):37-47.
- Prasetyo, B.H., D. Subardja, dan B. Kaslan. 2005.** Ultisol bahan vulkan andesitik: Diferensiasi potensi kesuburan dan pengelolaannya. Jurnal Tanah dan Iklim 23:1-12.
- Prasetyo, B.H., H. Suganda, dan A. Kasno. 2007.** Pengaruh bahan vulkan pada sifat tanah sawah. Jurnal Tanah dan Iklim 25:45-58.
- Pusat Penelitian Tanah. 1983.** Term of Reference Type A. Publ. P3MT-PPT, Bogor.
- Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. 2000.** Atlas Sumberdaya Tanah Eksplorasi Indonesia, skala 1:1.000.000. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Bogor.
- Setyorini, D., D. Nursyamsi, dan M.T. Sutriadi. 2005.** Pengelolaan hara P dan K pada berbagai kelas status hara tanah. Laporan Hasil Penelitian, Satker Balai Penelitian Tanah, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor. (tidak dipublikasikan).
- Singh, M. and N.S. Pasricha. 1987.** Release of potassium from illitic soils. Potash Review No. 4/1987. International Potash Institute, Switzerland.
- Song, S.K. and P.M. Huang. 1988.** Dynamic of potassium release from potassium-bearing minerals as influenced by oxalic and citric acid. SSSAJ 52: 383-390.
- Soil Survey Staff. 1998.** Kunci Taksonomi Tanah. Edisi kedua Bahasa Indonesia. 1999. Puslit-tanak, Badan Litbang Pertanian. Hlm 75-84.
- Sparks, D.L., and W.C. Leibhardt. 1981.** Effect long-term lime and potassium application on quantity-intensity (Q/I) relationships in sandy soil. SSSAJ 45:786-790.
- Subagyo, H. 1983.** Pedogenesis dua pedon Grumusol (Vertisol) dari bahan vulkanik Gunung Lawu dekat Ngawi dan Karanganyar. Pembr. Pen. Tanah dan Pupuk 2:8-12.
- Subagyo, H., N. Suharta, dan A.B. Siswanto. 2000.** Tanah-tanah pertanian di Indonesia. Hlm. 21-66. Dalam Sumber Daya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.

- Sulaeman, Eviati S., Atikah, dan J.S. Adiningsih. 2000.** Hubungan kuantitas dan intensitas kalium untuk menduga kemampuan tanah dalam persediaan hara kalium. Hlm. 125-140 *Dalam* Prosiding Seminar Nasional Reorientasi Pendayagunaan Sumberdaya Tanah, Iklim, dan Pupuk. Cipayung-Bogor, 31 Oktober-2 November 2000.
- Syarif, A.A. 2005.** Ketenggangan genotipe padi terhadap defisiensi hara fosfor. Disertasi Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Tan, K.H. 1998.** Principles of Soil Chemistry. Third Edition Revised and Expanded. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Widjaja-Adhi, I P.G. dan M. Sudjadi. 1987.** Status dan kelakuan fosfat tanah-tanah di Indonesia. Hlm. 223-242. *Dalam* Prosiding Lokakarya Nasional Penggunaan Pupuk Fosfat. Cipanas, 29 Juni-2 Juli 1987. Pusat Penelitian Tanah, Bogor.
- Zhu Yong-Guan and Luo Jia-Xian. 1993.** Release of non-exchangeable soil K by organic acids. *Pedosphere* 3:269-276.