

Pengaruh Asam Oksalat, Na^+ , NH_4^+ , dan Fe^{3+} terhadap Ketersediaan K Tanah, Serapan N, P, dan K Tanaman, serta Produksi Jagung pada Tanah-tanah yang Didominasi Smektit

Effect of Oxalic Acid, Na^+ , NH_4^+ , and Fe^{3+} on Availability of Soil K, Plant N, P, and K Uptake, and Maize Yield in Smectitic Soils

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

ABSTRAK

Tanah-tanah yang didominasi mineral liat smektit mempunyai prospek yang cukup besar untuk dikembangkan menjadi lahan pertanian, asal disertai dengan pengelolaan tanah dan tanaman yang tepat. Walaupun kadar K total tanah tinggi, tapi ketersediaan kalium bagi tanaman sering menjadi masalah, karena K difiksasi oleh mineral liat smektit. Penelitian yang bertujuan untuk mempelajari pengaruh pemberian asam oksalat, Na^+ , NH_4^+ , dan Fe^{3+} terhadap ketersediaan K tanah, serapan N, P, dan K, serta produksi tanaman jagung (*Zea mays*, L.) pada tanah-tanah yang didominasi mineral liat smektit telah dilaksanakan di Laboratorium Penelitian dan Uji Tanah dan Rumah Kaca Balai Penelitian Tanah, Bogor. Percobaan menggunakan empat contoh tanah *bulk* yang diambil dari Bogor (Hapludalf Tipik), Cilacap (Endoaquert Kromik), Ngawi (Endoaquert Tipik), dan Blora (Haplustalf Tipik). Percobaan inkubasi di laboratorium dan pot di rumah kaca menggunakan Rancangan Faktorial dalam Rancangan Acak Kelompok, ulangan tiga kali, dan percobaan pot menggunakan jagung varietas Pioneer 21 sebagai tanaman indikator. Faktor pertama adalah takaran asam oksalat, yaitu: 0, 1.000, 2.000, dan 4.000 ppm, sedangkan faktor kedua adalah penambahan kation, yaitu: tanpa kation, Na^+ , NH_4^+ , dan Fe^{3+} masing-masing dari NaCl, NH_4Cl , dan FeCl_3 dengan takaran 50% jerapan maksimum. Takaran Fe^{3+} 50% jerapan maksimum menyebabkan tanaman mati sehingga percobaan diulang di musim berikutnya dengan takaran Fe^{3+} : 0, 125, 250, 375, dan 500 ppm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa asam oksalat, Na^+ , NH_4^+ , dan Fe^{3+} nyata meningkatkan K tersedia baik di Alfisols maupun Vertisols, dimana pengaruhnya di Vertisols lebih tinggi dibandingkan Alfisols. Tingkat kekuatan perlakuan dalam melepaskan K dari bentuk tidak tersedia menjadi tersedia adalah $\text{Fe}^{3+} > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{asam oksalat}$. Asam oksalat nyata meningkatkan serapan N, P dan K tanaman di Vertisols, sedangkan Fe^{3+} takaran 125 ppm nyata meningkatkan serapan K tanaman di Alfisols serta N, P, dan K tanaman di Vertisols. Asam oksalat nyata meningkatkan bobot brangkasan kering jagung umur 4 minggu setelah tanam (MST) pada Hapludalf Tipik dan Endoaquert Tipik, sedangkan Fe^{3+} takaran 125 ppm nyata meningkatkan hasil brangkasan kering pada Endoaquert Kromik dan Endoaquert Tipik.

Kata kunci : Asam oksalat, Na^+ , NH_4^+ , Fe^{3+} , K tersedia, Jagung, Tanah yang didominasi smektit

ABSTRACT

Smectitic soils have high prospect to be developed for agricultural land under a proper soil and plant management. The soils are commonly high in total K content. It's availability for

plant growth, however, is relatively low due to fixation by smectite in interlayer space. Researches aimed to study the effect of oxalic acid, Na^+ , NH_4^+ , and Fe^{3+} on availability of soil K, plant N, P, and K uptake, as well as maize yield in smectitic soils have been conducted in Laboratory of Research and Soil Test and Green House of Indonesian Soil Research Institute, Bogor. Four different types of bulk soil samples taken from Bogor (Typic Hapludalfs), Cilacap (Chromic Endoaquerts), Ngawi (Typic Endoaquerts), and Blora (Typic Haplustalfs) were used for experiments. Incubation and pot experiments were set up using Factorial Randomized Completely Block Design with three replication and pot experiment used maize of Pioneer 21 variety as plant indicator. The first factor was oxalic acid rates: 0; 1,000; 2,000; and 4,000 ppm, while the second one was application of cations: without cation, Na^+ , NH_4^+ , and Fe^{3+} from NaCl, NH_4Cl , and FeCl_3 respectively with 50% of maximum adsorption rate. The Fe^{3+} with 50% of maximum adsorption rate caused plant death, thus the experiment was repeated in the next season with Fe^{3+} rates: 0, 125, 250, 375, and 500 ppm. The results showed that oxalic acid, Na^+ , NH_4^+ , and Fe^{3+} significantly increased the availability of soil K in both Alfisols and Vertisols where the effect was higher in Vertisols than Alfisols. The effectiveness of the treatments to release K from non available to available K form in the soils was in order of $\text{Fe}^{3+} > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{oxalic acid}$. Oxalic acid significantly increased plant N, P, and K uptake in Vertisols, while 125 ppm of Fe^{3+} significantly increased plant K uptake in Alfisols as well as N, P, and K uptake in Vertisols. Oxalic acid significantly increased 4-week-after-planting biomass dry yield in Typic Hapludalfs and Typic Endoaquerts, while 125 ppm of Fe^{3+} significantly increased the yield in Chromic Endoaquerts and Typic Endoaquerts.

Key words : Oxalic acid, Na^+ , NH_4^+ , Fe^{3+} , Soil available K, Maize, Smectitic soils.

PENDAHULUAN

Kalium merupakan hara makro yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah banyak setelah N dan P. Umumnya kalium diserap tanaman dalam

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, Ditjen Pengelolaan Lahan dan Air, Departemen Pertanian.

bentuk K larut (*soluble K*) yang berada dalam reaksi keseimbangan dengan K dapat dipertukarkan (*exchangeable K*) dan K tidak dapat dipertukarkan (*non-exchangeable K*). Kalium tidak dapat dipertukarkan meliputi K terfiksasi dan K struktural (Kirkman *et al.*, 1994). Bentuk K larut dan dapat dipertukarkan merupakan bentuk K yang cepat tersedia sehingga sering disebut sebagai K tersedia atau K aktual. Sementara itu bentuk K tidak dapat dipertukarkan merupakan bentuk K yang lambat tersedia sehingga disebut sebagai K potensial. Tanaman akan mengalami kekahatan apabila K aktual di dalam tanah saat tanaman tumbuh lebih rendah dari batas kritisnya (K yang dibutuhkan tanaman untuk pertumbuhannya).

Ketersediaan kalium bagi tanaman tergantung aspek tanah dan parameter iklim yang meliputi: jumlah dan jenis mineral liat, kapasitas tukar kation, daya sangga, kelembaban, suhu, aerasi dan pH tanah (Havlin *et al.*, 1999). Selain faktor tanah dan iklim, spesies dan varietas tanaman juga berpengaruh terhadap serapan K, dimana tanaman yang toleran memerlukan K dalam jumlah sedikit dan sebaliknya tanaman sensitif memerlukan K dalam jumlah banyak. Salah satu mekanisme ketoleranan tanaman terhadap kekurangan hara adalah dengan cara mengeluarkan eksudat asam organik di sekitar akar (*rhizosphere*). Selanjutnya asam organik dapat melarutkan hara (P, K, Fe, Mn, dan lain-lain) yang sebelumnya tidak tersedia menjadi tersedia bagi tanaman (Marschner, 1997). Dengan demikian maka pengelolaan hara K untuk meningkatkan produksi tanaman perlu memperhatikan faktor-faktor tersebut di atas.

Tanah-tanah yang didominasi mineral liat smektit mempunyai prospek yang cukup besar untuk dikembangkan menjadi lahan pertanian tanaman pangan asal disertai dengan pengelolaan tanaman dan tanah yang tepat. Tanah-tanah tersebut mempunyai penyebaran yang cukup luas di tanah air, yaitu lebih dari 2,12 juta ha (Vertisols sekitar 2,12 juta ha ditambah sebagian Inceptisols dan Alfisols) yang tersebar di wilayah Jawa (Jabar, Jateng, dan Jatim), Sulawesi (Sulsel, Sulteng, dan

Gorontalo), dan Nusa Tenggara (Lombok) (Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, 2000).

Walaupun kadar K total tanah (K potensial) tinggi, tetapi ketersediaan K bagi tanaman (K aktual) sering menjadi masalah karena K difiksasi oleh mineral liat tipe 2:1, seperti dari golongan smektit (Borchardt, 1989) dan vermikulit (Douglas, 1989) yang dominan di tanah tersebut. Penelitian yang dilaksanakan di India menunjukkan bahwa tanah-tanah Vertisols mempunyai kapasitas fiksasi K (*K-fixing capacity*) dan daya sangga terhadap K (PBC^K) yang sangat tinggi (Ghousikar and Kendre, 1987). Oleh karena itu perlu dilakukan berbagai upaya untuk mengatasi fiksasi K tanah sehingga ketersediaannya bagi tanaman meningkat.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa asam organik dan sejumlah kation (NH₄⁺, Na⁺, dan lain-lain) mempunyai peranan yang sangat penting dalam meningkatkan ketersediaan K tanah. Asam oksalat dan sitrat dapat melepaskan K tidak dapat dipertukarkan (K_{td}) menjadi K dapat dipertukarkan (K_{dd}) dan K larut (K_i) pada tanah-tanah yang berbatuan induk batu kapur, dimana asam oksalat mempunyai efektivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan asam sitrat (Zhu and Luo, 1993). Song and Huang (1988) juga melaporkan bahwa K_{td} dari struktur mineral yang mengandung K (biotit, muskovit, mikroklin, dan ortoklas) dapat dilepaskan oleh asam oksalat dan sitrat.

Beberapa kation seperti Ca²⁺ dan Na⁺ dapat menggantikan posisi K di dalam struktur mineral muskovit akibat pelapukan (Shidu, 1987). Selain itu NH₄⁺ dan K⁺ dapat berkompetisi dalam menempati kompleks jerapan di posisi *inner* dari ruang antar lapisan mineral liat tipe 2:1 (Evangelou and Lumbanraja, 2002; Kilic *et al.*, 1999). Kompetisi tersebut sering terjadi terutama di tanah yang didominasi mineral yang mempunyai kapasitas jerapan tinggi terhadap kedua kation tersebut, seperti beidelit dan vermikulit (Bajwa, 1987). Selain itu Na⁺ dari *sodium tetraphenyl boron* dapat melepaskan K terfiksasi menjadi K tersedia di tanah merah (Alfisols), hitam (Vertisols), dan aluvial (Inceptisols dan Alfisols) (Dhillon and Dhillon, 1992).

Demikian pula Na dapat mengurangi sebagian kebutuhan pupuk K tanaman tebu pada tanah Vertisols di lahan perkebunan tebu Jawa Timur (Ismail, 1997).

Bertitik tolak dari pemikiran di atas penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh pemberian asam oksalat, Na^+ , NH_4^+ , dan Fe^{3+} terhadap ketersediaan K tanah, serapan N, P, dan K, serta produksi tanaman jagung (*Zea mays*, L.) pada tanah-tanah yang didominasi mineral liat smektit.

BAHAN DAN METODE

Percobaan dilaksanakan di Laboratorium Penelitian dan Uji Tanah serta Rumah Kaca, Balai Penelitian Tanah Bogor dengan menggunakan empat contoh tanah *bulk* yang diambil dari Bogor (B1), Cilacap (B2), Ngawi (B3), dan Blora (B4). Pengambilan contoh tanah *bulk* mempertimbangkan: bahan induk tanah, iklim, kadar K_{dd} dan mineral liat smektit tanah. Hasil klasifikasi tanah berdasarkan deskripsi profil tanah di empat lokasi tersebut disajikan pada Tabel 1 sedangkan hasil analisis pendahuluan keempat contoh tanah tersebut disajikan pada Tabel 2. Sifat-sifat kimia dan mineralogi tanah lebih rinci telah dilaporkan oleh Nursamsia *et al.* (2007). Selanjutnya penelitian dilaksanakan melalui dua rangkaian kegiatan, yaitu percobaan inkubasi di laboratorium dan percobaan pot di rumah kaca.

Percobaan inkubasi di laboratorium

Percobaan menggunakan Rancangan Acak Kelompok Faktorial. Faktor pertama adalah takaran asam oksalat, yaitu: 0, 1.000, 2.000, dan 4.000 ppm. Faktor kedua adalah penambahan kation, yaitu: tanpa kation, Na^+ , NH_4^+ , dan Fe^{3+} masing-masing dalam bentuk NaCl , NH_4Cl , dan FeCl_3 dengan takaran 50% jerapan maksimum (Tabel 3). Masing-masing kombinasi perlakuan diulang 3 kali.

Bahan tanah dikering-udarkan, ditumbuk, diayak dengan saringan 2 mm, lalu dimasukkan ke dalam pot sebanyak 1 kg pot⁻¹ bobot kering mutlak (BKM). Semua pupuk diberikan dalam bentuk larutan, lalu tanah diaduk hingga homogen. Tanah diinkubasi selama 12 minggu dan kadar air dipertahankan dalam kondisi kapasitas lapang dengan cara menambahkan air bebas ion seminggu dua kali. Selanjutnya contoh tanah diaduk hingga homogen setiap minggu.

Setelah inkubasi mencapai 12 minggu, contoh tanah diambil sekitar 250 gram, dikeringudarkan, digerus lalu diayak dengan ayakan 2 mm. Bentuk-bentuk K yang meliputi: K_i , K_{dd} , K_{td} , K_t ditetapkan dengan metode yang diuraikan oleh Helmke dan Sparks (1996); Knudsen *et al.* (1982); dan Wood dan DeTurk (1940). Tahapannya adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Klasifikasi tanah di daerah penelitian

Table 1. Soil classification of site experiments

Kode	Lokasi	Bahan induk	Zone agroklimat ^{*)}	Klasifikasi tanah
B1	Bogor	Batu kapur	B1	Hapludalf Tipik, halus, smektitik, isohipertermik
B2	Cilacap	Sedimen liat berkapur	B1	Endoaquert Kromik, sangat halus, berkapur, smektitik, isohipertermik
B3	Ngawi	Sedimen liat berkapur	C3	Endoaquert Tipik, sangat halus, berkapur, smektitik, isohipertermik
B4	Blora	Batu kapur	C2	Haplustalf Tipik, halus, berkapur, campuran, semi aktif, isohipertermik

*) Oldeman (1975)

Tabel 2. Sifat-sifat tanah lapisan atas (0-20 cm) dari lokasi percobaan

Table 2. Top soil characteristics (0-20 cm) of study location

Sifat-sifat tanah	Metode	Hapludalf Tipik	Endoaquert Kromik	Endoaquert Tipik	Haplustalf Tipik
Tekstur	Pipet				
Pasir (%)		26	13	9	48
Debu (%)		32	32	35	27
Liat (%)		43	55	56	25
pH	H ₂ O (1:2,5)	5,47	6,36	5,56	7,01
	KCl 1 N (1:2,5)	4,01	4,72	3,88	6,24
Bahan organik					
C-organik (%)	Kurmies	1,06	1,36	1,00	1,13
N-total (%)	Kjeldahl	0,12	0,12	0,11	0,10
C/N		9	11	10	13
P dan K potensial					
P ₂ O ₅ (mg 100g ⁻¹)	HCl 25%	178	548	222	148
K ₂ O (mg 100g ⁻¹)		30	134	41	187
P tersedia (mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹)	Bray 1	0,65	10,04	34,41	5,01
Nilai tukar kation	NH ₄ OAc 1 N pH 7				
Ca _{dd} (me 100g ⁻¹)		11,96	33,21	42,97	13,01
Mg _{dd} (me 100g ⁻¹)		2,22	10,36	9,06	0,95
K _{dd} (me 100g ⁻¹)		0,11	0,28	0,12	0,35
Na _{dd} (me 100g ⁻¹)		0,16	0,42	0,03	0,38
KTK (me 100g ⁻¹)	NH ₄ OAc 1 N pH 7	24,97	38,03	56,97	13,98
KB (%)		58	> 100	92	> 100
Kemasaman	KCl 1 N				
Al _{dd} (me 100g ⁻¹)		5,00	0,00	5,57	0,00
H _{dd} (me 100g ⁻¹)		0,55	0,45	0,82	0,19

Tabel 3. Takaran Na⁺, NH₄⁺, dan Fe³⁺ pada tiap jenis tanah

Table 3. Rate of Na⁺, NH₄⁺, and Fe³⁺ of each soil

Kation	Senyawa	Hapludalf Tipik	Endoaquert Kromik	Endoaquert Tipik	Haplustalf Tipik
	 mg kg ⁻¹			
Na ⁺	NaCl	59	68	82	60
NH ₄ ⁺	NH ₄ Cl	65	104	96	85
Fe ³⁺	FeCl ₃	5.000	5.000	5.555	5.000

K larut

Lima gram contoh tanah dimasukkan ke dalam botol sentrifus, lalu ditambahkan 20 ml 0,0002 M CaCl₂ dan dikocok selama 1 jam. Ekstrak tanah disentrifus dengan kecepatan 3.500 rpm selama 20 menit dan supernatan ditampung. Selanjutnya kadar K dalam supernatan diukur dengan *atomic absorption spectrophotometer* (AAS).

K dapat dipertukarkan

Dua gram contoh tanah dimasukkan ke dalam botol sentrifus 50 ml, lalu ditambahkan 20 ml

NH₄OAc 1 N pH 7 dan dikocok selama 30 menit. Ekstrak tanah disentrifus selama 10 menit dengan kecepatan 2.000 rpm dan supernatannya ditampung. Tahapan tersebut diulang lalu volume supernatan diimpitkan dengan penambahan NH₄OAc 1 N menjadi 50 ml. Selanjutnya kadar K dalam supernatan diukur dengan AAS.

K total

Setengah gram contoh tanah dimasukkan ke dalam *teflon bom*, lalu ditambah 1 ml aquades dan 10 ml HNO₃ dan HClO₄ pekat. *Teflon bomb*

ditempatkan pada *metal container* dan dipanaskan pada suhu 383°K selama 3 jam. Asam borat 2,8 g ditambahkan ke dalam labu ukur plastik 100 ml, kemudian ekstrak tanah dituangkan ke dalam labu. Sisa cairan dalam teflon dicuci dengan air bebas ion dan dimasukkan ke dalam labu ukur. Labu dikocok dan larutan diimpitkan menjadi 100 ml dengan menambahkan air bebas ion. Selanjutnya kadar K dalam larutan diukur dengan AAS.

K tidak dapat dipertukarkan

K tidak dapat dipertukarkan didefinisikan sebagai K total dikurangi oleh K larut dan K dapat dipertukarkan ($K_{\text{tdd}} = K_{\text{t}} - K_{\text{l}} - K_{\text{dd}}$).

Percobaan pot di rumah kaca

Percobaan ini juga menggunakan rancangan dan perlakuan yang sama dengan percobaan inkubasi. Namun demikian perlakuan Fe^{3+} dengan takaran 50% jerapan maksimum menyebabkan tanaman mati keracunan sehingga pada musim berikutnya percobaan diulang dengan takaran Fe^{3+} diubah menjadi lima tingkat, yaitu : 0, 125, 250, 375, dan 500 ppm. Selain itu perlakuan NH_4^+ tidak diuji karena N yang diserap tanaman tidak dapat dibedakan, apakah berasal dari perlakuan penambahan NH_4^+ atau pupuk urea.

Bahan tanah dikering-udarkan, ditumbuk, diayak dengan saringan 2 mm, lalu dimasukkan ke dalam pot sebanyak 2 kg pot⁻¹ BKM. Percobaan menggunakan pupuk dasar masing-masing 300 ppm N dan 200 ppm P. Semua pupuk perlakuan diberikan dalam bentuk larutan, lalu tanah diaduk hingga homogen. Benih jagung varietas Pioneer-21 ditanam 5 biji per pot dan setelah berumur 1 MST, tanaman dijarangkan menjadi 3 tanaman per pot. Kadar air tanah dipertahankan pada kapasitas lapang, lalu tanaman dipanen saat berumur 4 MST.

Pengamatan dilakukan terhadap bobot basah dan kering (70°C 48 jam) tanaman umur 4 MST. Analisis serapan N, P, dan K tanaman dilakukan setelah contoh tanaman didestruksi dengan menggunakan $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ pekat (analisis N) dan

$\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ pekat (analisis P dan K). Konsentrasi N dan P dalam larutan diukur dengan menggunakan spektrofotometer sedangkan K dengan AAS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketersediaan K tanah

Kadar K potensial (HCl 25%) tanah-tanah di lokasi penelitian semuanya termasuk tinggi, yakni 30, 41, 134, dan 187 mg 100g⁻¹ berturut-turut untuk Hapludalf Tipik, Endoaquert Tipik, Endoaquert Kromik, dan Haplustalf Tipik. Sementara itu K dapat dipertukarkan (NH_4OAc 1 N pH 7) berkisar antara rendah hingga tinggi, yakni 0,11; 0,12; 0,28; dan 0,35 me 100g⁻¹ berturut-turut untuk Hapludalf Tipik, Endoaquert Tipik, Endoaquert Kromik, dan Haplustalf Tipik (Tabel 2). Pada tiga tanah pertama meskipun K potensial tinggi tetapi K dapat dipertukarkannya rendah. Hal ini disebabkan karena sebagian besar K terfiksasi di ruang antar lapisan mineral liat smektit (Goulding, 1987) sehingga sulit terekstrak oleh NH_4OAc 1 N pH 7.

Asam oksalat tidak berpengaruh terhadap K_{l} , nyata meningkatkan K_{dd} sehingga nyata menurunkan K_{tdd} tanah Alfisols. Dibandingkan dengan kontrol, Na^+ dan NH_4^+ tidak berpengaruh nyata terhadap semua peubah yang diuji. Sementara itu Fe^{3+} sangat nyata ($P > 0,99$) meningkatkan K_{l} dan K_{dd} sehingga sangat nyata pula menurunkan K_{tdd} tanah. Selanjutnya interaksi antara asam oksalat dan kation tidak berpengaruh nyata terhadap semua peubah yang diuji (Tabel 4).

Berbeda dengan di tanah Alfisols, asam oksalat nyata meningkatkan K_{l} dan K_{dd} tanah sehingga sangat nyata menurunkan K_{tdd} tanah Vertisols. Perlakuan Na^+ nyata meningkatkan K_{l} tapi tidak berpengaruh nyata terhadap K_{dd} sehingga tidak berpengaruh nyata terhadap K_{tdd} tanah. Perlakuan NH_4^+ tidak berpengaruh nyata terhadap K_{l} tapi nyata meningkatkan K_{dd} sehingga nyata menurunkan K_{tdd} tanah. Sementara itu Fe^{3+} berpengaruh sangat nyata terhadap semua peubah yang diuji, yakni sangat nyata meningkatkan K_{l} dan K_{dd} sehingga sangat nyata pula menurunkan K_{tdd} tanah. Selanjutnya

interaksi antara asam oksalat dan kation tidak berpengaruh nyata terhadap semua peubah yang diuji (Tabel 5).

Tabel 4. Pengaruh asam oksalat, Na⁺, NH₄⁺, dan Fe³⁺ terhadap bentuk K_i, K_{dd}, K_{tdd} tanah setelah inkubasi tiga bulan pada Alfisols

Table 4. Effect of oxalic acid, Na⁺, NH₄⁺, and Fe³⁺ on soil K_{sol.}, K_{exch.}, and K_{non-exch.} forms after three months incubation in Alfisols

Perlakuan	Bentuk K tanah		
	K _i	K _{dd}	K _{tdd}
 mg kg ⁻¹		
Asam oksalat			
0	25,63 a	62,00 b	301 a
1.000	26,00 a	59,13 b	303 a
2.000	26,38 a	70,50 a	292 b
4.000	27,00 a	70,38 a	291 b
Kation			
Kontrol	13,88 b	56,50 b	318 b
Na ⁺	16,75 b	64,75 b	307 b
NH ₄ ⁺	16,25 b	67,75 b	304 b
Fe ³⁺	58,13 a	73,00 a	257 a
CV (%)	13,60	12,30	3,60
F _{Asam oksalat X Kation}	< 1	< 1	< 1

Angka pada kolom yang sama bila diikuti huruf yang berbeda menunjukkan berbeda nyata pada taraf 5% menurut DMRT.

Tabel 5. Pengaruh asam oksalat, Na⁺, NH₄⁺, dan Fe³⁺ terhadap bentuk K_i, K_{dd}, K_{tdd} tanah setelah inkubasi 3 bulan pada Vertisols

Table 5. Effect of oxalic acid, Na⁺, NH₄⁺, and Fe³⁺ on soil K_{sol.}, K_{exch.}, and K_{non-exch.} forms after 3 months incubation in Vertisols

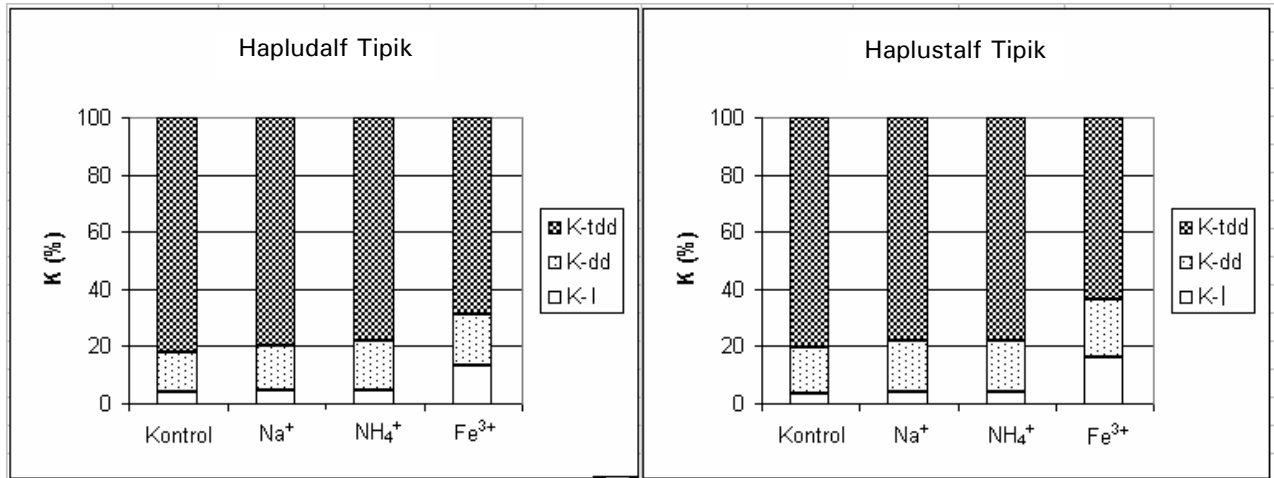
Perlakuan	Bentuk K tanah		
	K _i	K _{dd}	K _{tdd}
 mg kg ⁻¹		
Asam oksalat			
0	59,30 b	150,38 b	279 a
1.000	55,75 b	155,38 ab	280 a
2.000	58,38 b	165,00 a	267 ab
4.000	67,00 a	161,50 a	262 b
Kation			
Kontrol	27,75 b	149,25 c	314 b
Na ⁺	38,63 b	152,50 bc	299 b
NH ₄ ⁺	33,38 b	165,13 b	292 b
Fe ³⁺	142,13 a	165,38 a	183 a
CV (%)	13,60	12,30	3,60
F _{Asam oksalat X Kation}	< 1	1,34 ^{ns}	< 1

Angka pada kolom yang sama bila diikuti huruf yang berbeda menunjukkan berbeda nyata pada taraf 5% menurut DMRT.

Pelepasan K di tanah-tanah yang didominasi smektit oleh penambahan kation dapat berlangsung melalui reaksi pertukaran kation. Reaksi tersebut dipengaruhi antara lain oleh jumlah (molaritas) dan valensi kation yang ditambahkan (Tan, 1998). Takaran Na⁺ dan NH₄⁺ yang ditambahkan berturut-turut berkisar antara 59-82 dan 65-104 mg kg⁻¹ sedangkan Fe³⁺ 5.000-5.555 mg kg⁻¹ (Tabel 3). Selain itu Na⁺ dan NH₄⁺ bervalensi I sedangkan Fe³⁺ bervalensi III. Kedua faktor tersebut menyebabkan pemberian Na⁺ tidak nyata meningkatkan K_i dan K_{dd}, NH₄⁺ tidak nyata meningkatkan K_i, tetapi Fe³⁺ nyata meningkatkan K_i dan K_{dd} di tanah Alfisols dan Vertisols (Tabel 4 dan 5).

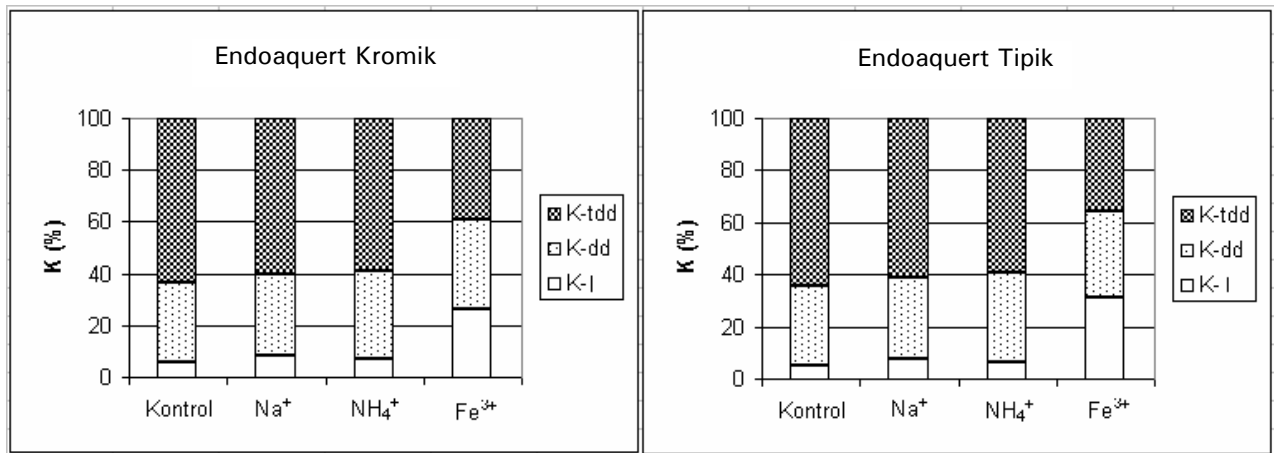
Asam oksalat tidak nyata meningkatkan K_i pada Alfisols, sedangkan pada Vertisols nyata. Demikian pula Na⁺ dan NH₄⁺ tidak nyata meningkatkan K_{dd} pada Alfisols, sedangkan pada Vertisols nyata. Sementara itu Fe³⁺ dapat meningkatkan K_i dari 13,88 menjadi 58,13 mg kg⁻¹ (318%) pada Alfisols sedangkan pada Vertisols dari 27,75 menjadi 142,13 mg kg⁻¹ (412%). Tampak bahwa pengaruh perlakuan terhadap peubah yang diuji lebih tinggi pada Vertisols dibandingkan Alfisols. Hal ini disebabkan antara lain karena kadar K total tanah Vertisols jauh lebih tinggi dibandingkan Alfisols (Nursyamsi *et al.*, 2007). Kalium yang lepas dari pool K_{tdd} menjadi K_{dd} (*relesase*) dan dari K_{dd} menjadi K_i (*desorption*) pada Vertisols lebih tinggi dibandingkan Alfisols. K yang lepas dari K_{tdd} menjadi K_{dd} umumnya K yang berada di posisi *interlayer* (i), *wedge* (w), dan *crack* (c), sedangkan K yang lepas dari K_{dd} menjadi K_i adalah K yang berada di posisi *planar* (p) dan *edge* (e) (Goulding, 1987).

Pemberian kation jauh lebih efektif dalam meningkatkan ketersediaan K di dalam tanah dibandingkan dengan asam oksalat. Pengaruh kation terhadap perubahan proporsi bentuk-bentuk K tanah disajikan pada Gambar 1 (Alfisols) dan Gambar 2 (Vertisols). Diantara kation yang dicoba ternyata Fe³⁺ paling efektif dalam melepaskan K_{tdd} menjadi K_{dd} dan K_i di kedua jenis tanah yang diteliti. Gambar 1 dan 2 menunjukkan bahwa jumlah K_i dan K_{dd} meningkat sedangkan K_{tdd} menurun akibat pemberian kation di semua tanah yang diteliti. Tingkat



Gambar 1. Pengaruh pemberian Na^+ , NH_4^+ , dan Fe^{3+} terhadap proporsi bentuk-bentuk K tanah Alfisols

Figure 1. Effect of Na^+ , NH_4^+ , and Fe^{3+} application on the proportion of soil K forms in Alfisols



Gambar 2. Pengaruh pemberian Na^+ , NH_4^+ , dan Fe^{3+} terhadap proporsi bentuk-bentuk K tanah Vertisols

Figure 2. Effect of Na^+ , NH_4^+ , and Fe^{3+} application on the proportion of soil K forms in Vertisols

kekuatan kation dalam melepaskan K tanah dari tinggi ke rendah adalah: $\text{Fe}^{3+} > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+$ baik pada Alfisols maupun Vertisols.

Kirkman *et al.* (1994) mengemukakan bahwa pada tanah-tanah yang didominasi mineral liat tipe 2:1 sebagian besar K berada di posisi-i (K_{td}) dan hanya sebagian kecil berada di posisi-e dan p (K_{dd}). Hasil penelitian Nursyamsi *et al.* (2007) pada tanah-tanah yang didominasi smektit juga menunjukkan hal

yang sama, yaitu sekitar 63-68% K berada dalam bentuk K_{td} , 24-31% dalam bentuk K_{dd} , dan hanya 5-7% dalam bentuk K_i . Berdasarkan jumlah K yang dilepas, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Na^+ hanya dapat mengusir K yang berada di posisi-p, sedangkan NH_4^+ selain K di posisi-p juga di posisi-e dan sebagian kecil K yang berada di posisi-i. Sementara itu Fe^{3+} dapat melepas K yang berada di posisi-p dan e dan sejumlah besar K yang berada di posisi-i.

Serapan hara tanaman

Pada Alfisols, asam oksalat tidak berpengaruh nyata terhadap serapan N, P, dan K tanaman. Demikian pula Na⁺ tidak berpengaruh nyata terhadap serapan ketiga hara tersebut. Sementara itu Fe³⁺ tidak berpengaruh nyata terhadap serapan N, nyata menurunkan serapan P, tapi nyata meningkatkan serapan K tanaman (Tabel 6). Pada Vertisols, asam oksalat nyata meningkatkan serapan N, P, dan K tanaman, sedangkan Na⁺ tidak berpengaruh nyata terhadap ketiga peubah yang diuji. Berbeda dengan dua kation sebelumnya, Fe³⁺ takaran 125 ppm nyata meningkatkan serapan ketiga hara tersebut. Sementara itu interaksi antara asam oksalat dengan kation tidak berpengaruh nyata terhadap ketiga peubah yang diuji baik pada Alfisols maupun Vertisols (Tabel 7).

Tabel 6. Pengaruh asam oksalat, Na⁺ dan Fe³⁺ terhadap serapan N, P, dan K tanaman pada Alfisols

Table 6. Effect of oxalic acid, Na⁺ and Fe³⁺ on plant N, P, and K uptake in Alfisols

Perlakuan	Serapan hara tanaman		
	N	P	K
 mg pot ⁻¹		
<i>Asam oksalat (ppm)</i>			
0	105,88 a	7,71 a	25,72 a
1.000	109,50 a	7,97 a	26,60 a
2.000	111,99 a	8,15 a	27,21 a
4.000	107,35 a	7,81 a	26,08 a
<i>Natrium</i>			
Kontrol	125,74 a	9,15 a	30,55 a
Na (50% jerapan maksimum)	130,55 a	9,50 a	31,72 a
<i>Besi (ppm)</i>			
0	229,00 a	16,67 a	50,64 b
125	233,53 a	17,00 a	56,74 a
250	220,42 a	16,04 a	53,55 ab
375	213,42 a	15,53 ab	51,85 b
500	192,51 a	14,01 b	46,77 b
CV (%)	9,10	4,80	8,70
F _{Asam oksalat X Kation}	< 1	< 1	< 1,11 ^{ns}

Angka pada kolom yang sama bila diikuti huruf yang berbeda menunjukkan berbeda nyata pada taraf 5% menurut DMRT.

Pada Alfisols, hanya Fe³⁺ yang nyata meningkatkan serapan K tanaman, sedangkan pada Vertisols selain Fe³⁺, asam oksalat juga nyata

meningkatkan serapan N, P, dan K tanaman. Fenomena tersebut menunjukkan bahwa perlakuan tersebut dapat memperbaiki ketersediaan salah satu atau beberapa hara bagi tanaman sehingga serapannya menjadi meningkat.

Tabel 7. Pengaruh asam oksalat, Na⁺ dan Fe³⁺ terhadap serapan N, P, dan K tanaman pada Vertisols

Table 7. Effect of oxalic acid, Na⁺ and Fe³⁺ on plant N, P, and K uptake in Vertisols

Perlakuan	Serapan hara tanaman		
	N	P	K
 mg pot ⁻¹		
<i>Asam oksalat (ppm)</i>			
0	211,21 b	15,37 b	51,31 b
1.000	233,42 a	16,99 a	56,71 a
2.000	227,13 ab	16,53 ab	55,18 a
4.000	215,87 b	15,71 b	52,45 b
<i>Natrium</i>			
Kontrol	258,43 a	18,81 a	62,79 a
Na (50% jerapan maksimum)	242,21 a	17,63 a	58,84 a
<i>Besi (ppm)</i>			
0	333,55 b	24,28 b	81,04 b
125	381,09 a	27,74 a	92,59 a
250	334,87 b	24,37 b	81,36 b
375	325,61 b	23,70 b	79,11 b
500	283,92 c	20,67 c	68,98 b
CV (%)	4,80	6,60	9,20
F _{Asam oksalat X Kation}	1,56 ^{ns}	1,32 ^{ns}	1,03 ^{ns}

Angka pada kolom yang sama bila diikuti huruf yang berbeda menunjukkan berbeda nyata pada taraf 5% menurut DMRT.

Produksi tanaman

Asam oksalat nyata meningkatkan produksi brangkasan kering tanaman jagung umur 4 MST pada Hapludalf Tipik dan Endoaquert Tipik. Perlakuan Na⁺ tidak berpengaruh nyata terhadap peubah tersebut di semua tanah yang diuji. Perlakuan Fe³⁺ pada takaran 125 ppm nyata meningkatkan hasil brangkasan kering pada Endoaquert Kromik dan Endoaquert Tipik. Namun demikian takaran Fe³⁺ 500 ppm nyata menurunkan hasil gabah kering pada Hapludalf Tipik, Endoaquert Kromik, dan Endoaquert Tipik. Sementara itu interaksi antara asam oksalat dan kedua kation tersebut tidak berpengaruh nyata terhadap peubah tersebut (Tabel 8).

Tabel 8. Pengaruh asam oksalat, Na^+ , dan Fe^{3+} terhadap produksi brangkasan kering tanaman jagung umur 4 MST*Table 8. Effect of oxalic acid, Na^+ and Fe^{3+} on 4-weeks-after-planting biomass dry yield*

Perlakuan	Hapludalf Tipik	Haplustalf Tipik	Endoaquert Kromik	Endoaquert Tipik
 g pot ⁻¹			
<i>Asam oksalat (ppm)</i>				
0	1,62 b	3,09 a	4,81 a	4,59 b
1.000	1,83 ab	3,04 a	5,28 a	5,10 a
2.000	1,92 a	3,06 a	5,13 a	4,98 a
4.000	1,77ab	3,01 a	4,85 a	4,75 ab
<i>Natrium</i>				
Kontrol	1,98 a	3,58 a	6,01 a	5,45 a
Na (50% jerapan maksimum)	1,93 a	3,77 a	5,73 a	5,02 a
<i>Besi (ppm)</i>				
0	3,62 a	6,56 a	10,44 b	4,40 b
125	3,45 a	6,95 a	11,93 a	5,03 a
250	3,34 a	6,37 a	10,48 b	4,42 b
375	3,30 a	6,20 a	10,20 b	4,29 b
500	2,40 b	6,17 a	8,75 c	3,89 c
CV (%)	14,30	13,70	11,70	8,30
F _{Asam oksalat X Kation}	1,41 ^{ns}	< 1	1,09 ^{ns}	1,25 ^{ns}

Angka pada kolom yang sama bila diikuti huruf yang berbeda menunjukkan berbeda nyata pada taraf 5% menurut DMRT.

Peningkatan produksi akibat pemberian asam oksalat berkaitan erat dengan peningkatan serapan N, P, dan K tanaman pada Vertisols (Tabel 7). Sementara itu Fe^{3+} selain dapat meningkatkan serapan K tanaman pada Alfisols (Tabel 6) dan serapan N, P, dan K tanaman pada Vertisols (Tabel 7), juga merupakan hara mikro yang diperlukan oleh tanaman dalam jumlah sedikit. Besi diperlukan tanaman karena merupakan bagian dari klorofil pada daun yang penting untuk proses fotosintesis tanaman (Marschner, 1997). Faktor-faktor tersebut merupakan alasan produksi tanaman meningkat akibat pemberian Fe^{3+} . Takaran Fe^{3+} 500 ppm yang menurunkan hasil tanaman merupakan petunjuk bahwa tanaman mengalami keracunan.

Peranan asam oksalat, Na^+ , NH_4^+ , dan Fe^{3+}

Berdasarkan data Tabel 6-8 maka K-tersedia, serapan N, P, dan K tanaman, dan kebutuhan pupuk K dapat dihitung dan hasilnya disajikan pada Tabel 9

(Alfisols) dan 10 (Vertisols). Perhitungan tersebut menggunakan asumsi: (1) K-tersedia = K terekstrak NH_4OAc 1 N pH 7.0 (K_{dd}); (2) Berat tanah 1 ha kedalaman 20 cm = 2×10^6 kg; dan (3) Kebutuhan pupuk K untuk mencapai hasil 9 t ha⁻¹ adalah 150 kg K ha⁻¹ dan efisiensi pemupukan K sebesar 40% (Dierolf *et al.*, 2001). Selanjutnya K yang ditambahkan dari pupuk didefinisikan sebagai K yang diperlukan untuk mencapai hasil 9 t ha⁻¹ dikurangi oleh K yang tersedia di dalam tanah.

Asumsi kebutuhan pupuk K untuk mencapai hasil 9 t ha⁻¹ sebesar 150 kg K ha⁻¹ berdasarkan hasil penelitian Dierolf *et al.* (2001), yaitu tanaman jagung memerlukan 75 kg K untuk mencapai produksi 4,5 t ha⁻¹ biji kering. Jagung hibrida P-21 mempunyai potensi produksi biji kering sekitar 9 t ha⁻¹ sehingga memerlukan hara K dari tanah sebesar 150 kg ha⁻¹ untuk mencapai pertumbuhan yang optimal. Nilai tersebut hampir sama dengan perhitungan kebutuhan pupuk K berdasarkan batas

Tabel 9. Pengaruh asam oksalat, Na⁺, NH₄⁺, dan Fe³⁺ terhadap K-tersedia tanah, serapan N, P, dan K tanaman, persen hasil tanaman, dan jumlah K yang perlu ditambahkan (pupuk) pada Alfisols

Table 9. Effect of oxalic acid, Na⁺, NH₄⁺, and Fe³⁺ on soil available K, plant N, P, and K uptake, percentage of plant yield, and K needed to add (fertilizer) in Alfisols

Perlakuan	K-tersedia tanahkg ha ⁻¹	Serapan hara tanaman			Persen hasil*** %	K yang perlu ditambahkan (pupuk) kg ha ⁻¹
		N	P	K		
Hapludalf Tipik						
<i>Asam oksalat (ppm)</i>						
0	101	172	5.1	22.1	100	110
1.000	99	218	6.3	21.6	113	111
<i>Kation (50% jerapan mak)</i>						
Kontrol	101	229	6.4	20.9	100	109
Na	118	196	6.4	27.9	98	103
NH ₄	131	*	*	*	*	98
<i>Besi (ppm)</i>						
0	101	379	22.7	148.9	100	109
125	103	418	23.6	149.2	96	109
5.000	133	**	**	**	**	97
Haplustalf Tipik						
<i>Asam oksalat (ppm)</i>						
0	136	227	30.7	92.8	100	96
1.000	143	247	31.3	109.3	98	93
<i>Kation (50% jerapan mak)</i>						
Kontrol	129	329	27.9	88.9	100	98
Na	145	311	19.9	87.6	105	92
NH ₄	145	*	*	*	*	92
<i>Besi (ppm)</i>						
0	129	533	47.8	276.9	100	98
125	131	617	59.3	273.4	106	98
5.000	163	**	**	**	**	85

Keterangan :

* Perlakuan NH₄⁺ tidak diuji karena N yang diserap tanaman tidak dapat dibedakan, apakah berasal dari perlakuan penambahan NH₄⁺ atau pupuk urea; **Tidak ada data karena tanaman mati keracunan; dan ***Persen hasil = (Y_{perlakuan}/Y₀) X 100%.

kritis K tanah untuk jagung 0,2 me K 100g⁻¹ (Dierolf *et al.*, 2001), yaitu sebesar 156 kg K ha⁻¹.

Pada Hapludalf Tipik, asam oksalat takaran 1.000 ppm tidak berpengaruh terhadap ketersediaan K tanah sehingga tidak berpengaruh pula terhadap kebutuhan K dari pupuk. Namun demikian asam oksalat dapat meningkatkan serapan N dan P tanaman sehingga hasil biji kering juga meningkat sekitar 13%. Perlakuan Na⁺, NH₄⁺, dan Fe³⁺ dapat meningkatkan ketersediaan K tanah sehingga menurunkan kebutuhan pupuk K tanaman. Namun demikian kation-kation tersebut tidak berpengaruh

terhadap serapan hara, kecuali serapan N tanaman meningkat akibat pemberian Fe³⁺. Sementara itu pada Haplustalf Tipik, asam oksalat dapat meningkatkan ketersediaan K sehingga kebutuhan pupuk K menurun, meningkatkan serapan N dan K tanaman, tapi tidak berpengaruh terhadap hasil tanaman. Perlakuan Na⁺, NH₄⁺, dan Fe³⁺ meningkatkan ketersediaan K sehingga kebutuhan pupuk K menurun, meningkatkan hasil biji kering, dan Fe³⁺ meningkatkan serapan N dan P tanaman.

Pada Endoaquert kromik, asam oksalat meningkatkan ketersediaan K sehingga menurunkan

Tabel 10. Pengaruh asam oksalat, Na^+ , NH_4^+ , dan Fe^{3+} terhadap K-tersedia tanah, serapan N, P, dan K tanaman, persen hasil tanaman, dan jumlah K yang perlu ditambahkan (pupuk) pada Vertisols

Table 10. Effect of oxalic acid, Na^+ , NH_4^+ , and Fe^{3+} on soil available K, plant N, P, and K uptake, percentage of plant yield, as well as K needed to add (fertilizer) in Vertisols

Perlakuan	K-tersedia tanahkg ha ⁻¹	Serapan hara tanaman			Persen hasil*** %	K yang perlu ditambahkan (pupuk) kg ha ⁻¹
		N	P	K		
Endoaquert Kromik						
<i>Asam oksalat (ppm)</i>						
0	310	377	18.2	203.1	100	26
1.000	337	469	24.9	270.3	110	15
<i>Kation (50% jerapan mak)</i>						
Kontrol	331	508	25.3	268.0	100	17
Na	341	459	24.8	300.9	95	14
NH ₄	366	*	*	*	*	4
<i>Besi (ppm)</i>						
0	331	883	58.6	454.2	100	17
125	333	988	79.3	593.1	114	17
5.000	370	**	**	**	**	2
Endoaquert Tipik						
<i>Asam oksalat (ppm)</i>						
0	284	426	54.3	209.2	100	36
1.000	290	474	69.5	209.7	111	34
<i>Kation (50% jerapan mak)</i>						
Kontrol	269	498	68.4	215.1	100	42
Na	274	488	63.4	225.2	92	40
NH ₄	304	*	*	*	*	29
<i>Besi (ppm)</i>						
0	269	393	43.6	163.8	100	42
125	270	417	44.8	236.3	114	42
5.000	294	**	**	**	**	32

*Perlakuan NH_4^+ tidak diuji karena N yang diserap tanaman tidak dapat dibedakan, apakah berasal dari perlakuan penambahan NH_4^+ atau pupuk urea, **Tidak ada data karena tanaman mati keracunan, dan ***Persen hasil = $(Y_{\text{perlakuan}}/Y_0) \times 100\%$.

kebutuhan pupuk K, meningkatkan serapan N, P, dan K tanaman, serta hasil biomas kering jagung. Perlakuan Na^+ meningkatkan serapan K tanaman tapi tidak berpengaruh terhadap hasil biomas kering. Perlakuan Fe^{3+} meningkatkan serapan N, P, dan K tanaman sehingga hasil biomas kering pun meningkat. Demikian pula pada Endoaquert Tipik, asam oksalat meningkatkan ketersediaan K sehingga menurunkan kebutuhan pupuk K, meningkatkan serapan N dan P tanaman, serta hasil biomas kering (11%). Perlakuan Na^+ meningkatkan serapan K tanaman tapi tidak berpengaruh terhadap hasil biomas kering. Sementara itu, Fe^{3+} meningkatkan serapan N dan K tanaman serta hasil biomas kering.

Selain aspek ketersediaan K tanah, produksi tanaman jagung juga dipengaruhi oleh ketersediaan N dan P tanah di semua tanah yang diuji. Asam oksalat dan kation dapat berpengaruh terhadap salah satu atau beberapa peubah tersebut yang pada gilirannya berpengaruh pula terhadap hasil biomas kering. Dengan demikian, maka peran utama asam oksalat (1.000 ppm) terhadap pertumbuhan jagung adalah selain meningkatkan ketersediaan K tanah sehingga mengurangi kebutuhan pupuk K juga memperbaiki ketersediaan N, P, dan K tanah. Selain itu seperti halnya asam organik yang lainnya, asam oksalat juga dapat berperan sebagai zat perangsang tumbuh yang dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman (Bolton *et al.*, 1993).

Perlakuan Na^+ dan NH_4^+ dapat meningkatkan K_{dd} tanah Vertisols (Tabel 5). Demikian pula Fe^{3+} dapat meningkatkan K_i dan K_{dd} di kedua jenis tanah yang diteliti (Tabel 4 dan 5). Dengan demikian maka ketiga kation tersebut berpotensi dalam meningkatkan ketersediaan K tanah sehingga mengurangi kebutuhan pupuk K. Selain itu Fe^{3+} takaran 125 ppm dapat meningkatkan serapan hara N, P, dan K tanaman sehingga produksi tanaman lebih baik. Demikian pula kation-kation tersebut dapat berperan sebagai hara makro (NH_4^+), mikro (Fe^{3+}), dan *beneficial nutrient* (Na^+) (Marschner, 1997).

Uraian di atas menunjukkan bahwa asam oksalat 1.000 ppm dan Fe^{3+} 125 ppm dapat memperbaiki keseimbangan hara tanah dan meningkatkan hasil tanaman. Perlakuan Na^+ berpengaruh terhadap peubah tanah tapi tidak berpengaruh terhadap tanaman. Perlakuan NH_4^+ meningkatkan K tersedia dan menurunkan kebutuhan pupuk K di kedua tanah yang diuji tapi responnya terhadap tanaman tidak diuji. Sementara itu Fe^{3+} 5.000 ppm memang meningkatkan K tersedia dan mengurangi kebutuhan pupuk K tapi menyebabkan tanaman mati. Dengan demikian maka perlakuan asam oksalat 1.000 ppm dan Fe^{3+} 125 ppm merupakan perlakuan yang terbaik.

Aplikasi penggunaan asam oksalat untuk meningkatkan ketersediaan K dan hasil tanaman di lapangan sesungguhnya dapat diganti dengan penggunaan tanaman yang banyak menghasilkan eksudat asam organik. Tanaman jagung dapat dipertimbangkan untuk dikembangkan di tanah-tanah yang didominasi smektit karena selain mempunyai nilai ekonomi tinggi juga akarnya dapat menghasilkan eksudat asam oksalat yang tinggi, yakni berkisar antara 3,15-5,93 mg g^{-1} BK akar (Nursyamsi, 2008). Dengan demikian maka peningkatan produktivitas tanah-tanah yang didominasi smektit dapat dilakukan melalui dua pendekatan, yakni perbaikan tanah dan penggunaan varietas tanaman yang tepat. Perbaikan tanah

dilakukan melalui selain pengelolaan bahan organik juga pengelolaan N, P, K, dan Fe tanah. Sementara itu tanaman yang dapat menghasilkan eksudat asam organik dan bernilai ekonomi tinggi juga dapat diterapkan di tanah-tanah yang mengandung smektit.

KESIMPULAN

1. Asam oksalat, Na^+ , NH_4^+ , dan Fe^{3+} nyata meningkatkan K tersedia baik di tanah Alfisols maupun Vertisols, dimana pengaruhnya di tanah Vertisols lebih tinggi dibandingkan Alfisols. Tingkat kekuatan perlakuan dalam melepaskan K dari bentuk tidak tersedia menjadi tersedia adalah $\text{Fe}^{3+} > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{asam oksalat}$.
2. Asam oksalat nyata meningkatkan serapan N, P dan K tanaman di Vertisols, sedangkan Fe^{3+} takaran 125 ppm nyata meningkatkan serapan K tanaman di Alfisols serta N, P, dan K tanaman di Vertisols.
3. Asam oksalat nyata meningkatkan bobot brangkasan kering tanaman jagung umur 4 MST pada Hapludalf Tipik dan Endoaquert Tipik, sedangkan Fe^{3+} takaran 125 ppm nyata meningkatkan hasil brangkasan kering pada Endoaquert Kromik dan Endoaquert Tipik.

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.
- Bolton, H. Jr., J.K. Fredrickson, and L.F. Elliot. 1993.** Microbial ecology of the rhizosphere. Pp 27-64. *In* Soil Microbial Ecology. Applications in Agricultural and Environmental Management. Marcel Dekker, Inc. 270 Madison Avenue, New York.

- Borchardt, G. 1989.** Smectites. Pp 675-727. *In* Minerals in Soil Environments. Second Edition. Soil Science Society of America Madison, Wisconsin, USA.
- 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):35-138.
- Dierolf, T. T. Fairhurst, and E. Mutert. 2001.** Soil Fertility Kit: A toolkit for acid, upland soil fertility management in Southeast Asia. Potash and Phosphate Institute/Potash and Phosphate Institute of Canada (PPI/PPIC) (www.eseap.org).
- Douglas, L.A. 1989.** Vermiculites. Pp 635-674. *In* Minerals in Soil Environments. Second Edition. Soil Science Society of America Madison, Wisconsin, USA.
- Evangelou, V.P. and J. Lumbanraja. 2002.** Ammonium-potassium-calcium exchange on vermiculite and hydroxy-aluminum vermiculite. *SSSAJ* 66:445-455.
- Ghousikar C.P. and D.W. Kendre. 1987.** Potassium supplying status of some soils of Vertisols type. *Potash Review* No. 5/1987. International Potash Institute, Switzerland.
- Goulding, K.W.T. 1987.** Potassium fixation and release. *Proc. of the Colloquium of the International Potash Institute* 20:137-154.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, and W.L. Nelson. 1999.** Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management. Sixth Edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey 07458.
- Helmke, P.A. and D.L. Sparks. 1996.** Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. *In* Methods of Soil Analysis. Part 3 Chemical Methods-SSSA Book Series No. 5.
- 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.
- Kilic, K., M.R. Derici, and K. Saltali. 1999.** The ammonium fixation in great soil groups of Tokat Region and some factors affecting the fixation. I. The affect of potassium on ammonium fixation. *Tr. J. of Agriculture and Forestry* 23:673-678.
- Kirkman, J.H., A. Basker, A. Surapaneni, A.N. Macgregor. 1994.** Potassium in the soils of New Zealand- a review. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 37:207-227.
- Knudsen, D., G.A. Paterson dan P.F. Pratt. 1982.** Lithium, sodium, and potassium. *In* Page et al (Eds.) *Method of Soil Analysis. Part 2.* 2nd ed. *Agronomy* 9:403-429.
- Marschner, H. 1997.** Mineral Nutrition of Higher Plants. Second Edition. Academic Press, Harcourt Brace & Company, Publisher. Tokyo.
- Nursamsia, D., K. Idris, S. Sabiham, D.A. Rachim, dan A. Sofyan. 2007.** Sifat-sifat tanah dominan yang berpengaruh terhadap K tersedia pada tanah-tanah yang didominasi smektit. *Jurnal Tanah dan Iklim* 26:13-28.
- Nursamsia, D. 2008.** 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.
- Oldeman, L.R. 1975.** An Agroclimatic Map of Java and Madura. *Contr. Cent. Res. Ins. Agric.* No. 17. 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.

- Sidhu, P.S. 1987.** Mineralogy of potassium in soils of Punjab, Haryana, Mimachal Pradesh and Jammu and Kashmir. Potash Review No. 6/1987. 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.
- Tan, K.H. 1998.** Principles of Soil Chemistry. Third Edition Revised and Expanded. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Wood, L.K. and E.E. De Turk. 1940.** The absorption of potassium in soil in non-exchangeable form. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 5:152-161.
- Zhu Yong-Guan and Luo Jia-Xian. 1993.** Release of non-exchangeable soil K by organic acids. Pedosphere 3:269-276.