

Penetapan Nilai Muatan Nol dan Pengaruh Pemberian P, Terak Baja, Bahan Organik dan Kapur terhadap Muatan Koloid dan Kualitas Oxisols

Point of Zero Charge Determination and the Influence of P, Basic Slag, Organic Matter and Lime Applications on Colloidal Charge and Quality of Oxisols

M. ANDA, A. KASNO, W. HARTATIK, SULAEMAN, DAN J. SRI ADININGSIH¹

ABSTRAK

Modifikasi muatan koloid tanah dengan pendekatan nilai muatan nol penting dilakukan untuk memperbaiki sifat kimia tanah berkembang lanjut. Penelitian ini bertujuan untuk menetapkan titik muatan nol dan memanipulasi muatan koloid tanah berkembang lanjut untuk meningkatkan kualitasnya. Penelitian dilakukan di rumah kaca, menggunakan tanah Oxisols dari Sonay, Sulawesi Tenggara dan Oxisols dari Sitiung, Sumatera Barat sebanyak 4,5 kg/pot, yang diambil pada lapisan atas (0-20 cm) dan lapisan bawah (20-40 cm). Penetapan nilai pHo ditetapkan dengan menyusun kisaran pH dari 3,0 - 7,0 menggunakan metode titrasi potensiometri. Perubahan nilai muatan koloid diukur dengan menggunakan NH₄-asetat pH 7 dan NH₄Cl tidak dibuffer. Modifikasi muatan koloid di rumah kaca dilakukan dengan perlakuan P terak baja, bahan organik dan kapur. Takaran P yaitu 100, 200 dan 400 ppm P diberikan dalam bentuk SP-36; takaran terak baja 2, 4 dan 8 t/ha; takaran bahan organik 10, 20 dan 40 t/ha; takaran kapur 1,5, 3 dan 6 t CaCO₃/ha serta kontrol lengkap. Total perlakuan 13 dengan tiga ulangan dan empat lapisan tanah dijadikan kelompok, kemudian disusun berdasarkan rancangan acak kelompok. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai titik muatan nol atau pHo pada lapisan atas Oxisols Sonay dan lapisan atas dan bawah Oxisols Sitiung adalah sama, yaitu terjadi pada pH 3,5. Selanjutnya pada lapisan bawah Oxisols Sonay, nilai titik muatan nol dicapai pada pH 5 merupakan nilai pHo tertinggi dari empat lapisan tanah yang digunakan. Pada lapisan atas Oxisols Sonay dan lapisan atas dan bawah Oxisols Sitiung, nilai pHo lebih rendah dari pH tanah, yang menunjukkan bahwa lapisan tersebut bermuatan negatif. Sebaliknya nilai pHo pada lapisan bawah Oxisols Sonay lebih tinggi dari pH tanah. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan tersebut bermuatan positif. Perlakuan P, terak baja, bahan organik dan kapur mampu merubah muatan koloid positif menjadi negatif, dan koloid bermuatan negatif menjadi lebih negatif, seperti yang ditunjukkan oleh nilai kapasitas tukar kation tanah (KTK) terukur dalam NH₄Cl (pada pH tanah alamiah atau tidak dibuffer) yang menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Oleh karena itu perlakuan P, terak baja, bahan organik dan kapur dapat meningkatkan kualitas tanah Oxisols, seperti yang ditunjukkan oleh berkurangnya pencucian K dan meningkatnya hasil kedelai secara mencolok dibandingkan dengan kontrol.

ABSTRACT

The colloidal charge manipulation of highly weathered soils using point of zero charge (PZC or pHo) approach is important in improving soil chemical properties. The objective of this study was to determine the PZC and manipulate colloidal

charge surfaces of Oxisols in order to increase their quality. PZC was determined by adjusting pH values from 3 to 7 using potentiometric titration. The change of colloidal surface charges was measured using two extractants; NH₄-acetat pH 7 and NH₄Cl. A glass house experiment was carried out using 4.5 kg soil/pot. Soil was taken from Sonay, South East Sulawesi and from Sitiung, West Sumatra. Soil was taken from surface layer (0-20 cm) and subsurface layer (20-40 cm) for each location. Four factors consisted of P fertilizer, basic slag, organic matter and lime were used to manipulate colloidal surface charge. The treatment rates were 100, 200 and 400 ppm P for P fertilizer; 2, 4 and 8 t/ha for basic slag; 10, 20 and 40 t/ha for organic matter; 1.5, 3 and 6 t/ha for lime, and a complete control. All 13 treatments with three replications, were arranged using a randomized complete block design in which each layer of two Oxisols is used as a block. The results showed that values of PZC for a surface layer of Sonay Oxisol (OSY) and for surface and subsurface layers of Sitiung Oxisol (OSG) are similar, i.e., pHo was 3.5. In addition, the PZC value for the subsurface layer of OSY occurs at pH 5 which is the highest pHo value compared to three other layers. The PZC value of OSY, at a surface layer is higher than its soil pH value (5.0 vs 4.4) suggesting that colloidal surfaces bear a positive charge. In contrast, the PZC values for the surface layer of OSY and surface and subsurface layers of OSG were lower than their soil pH values, indicating the colloidal surfaces bear a negative charge. Application of P, basic slag, organic matter, and lime was able to manipulate colloidal charge surfaces having positive charges become negative and that the low negative charge of colloidal surfaces become more negative as evidenced from the increase cation exchange capacity (measured in NH₄Cl) compared to a control treatment. Application of P, basic slag, organic matter, and lime could increased quality of Oxisols as shown by decreasing K leaching and by increased soybean yields, which drastically increased compared to a control treatment.

Keywords : Oxisols, Point of zero charge, Charge manipulation, Soil quality.

PENDAHULUAN

Jumlah muatan pada permukaan koloid merupakan sifat hakiki tanah, yang dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan

¹ Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor

strategi manajemen tanah-tanah berkembang lanjut. Tetapi, informasi mengenai hal tersebut relatif masih terbatas. Oleh karena itu, masih diperlukan penelitian dan pengkajian faktor-faktor yang mengendalikan muatan variabel (*variable charge*) berdasarkan perubahan nilai muatan nol (pHo), agar kualitas dan produktivitas tanah dapat ditingkatkan. Menurut Harding (1995) koloid tanah adalah partikel yang mempunyai diameter antara 0,001 - 1 μm .

Koloid tanah merupakan campuran dari berbagai proporsi bahan organik dan anorganik yang dihasilkan dari proses pelapukan. Total muatan pada koloid anorganik terdiri atas muatan permanen (*permanent charge*) dan muatan variabel (Uehara dan Gillman, 1981; Oades *et al.*, 1989). Muatan permanen berasal dari substitusi kation dalam kisi mineral liat (Gast, 1977), sedangkan muatan variabel berasal dari protonisasi atau deprotonisasi gugus hidroksil dari oksida besi dan aluminium, bahan organik dan patahan ikatan pada ujung kristal liat (Gillman, 1985; Taylor, 1987; Oades *et al.*, 1989). Di daerah tropika, tanah berkembang lanjut dicirikan oleh proporsi muatan variabel yang dominan (Van Raij dan Peech, 1972). Oleh karena itu cara memanipulasi muatan variabel memegang peran kunci dalam memperbaiki kualitas tanah tropika yang sudah berkembang lanjut, seperti Oxisols dan Ultisols.

Jumlah muatan variabel pada tanah berkembang lanjut sangat tergantung pada nilai pH, konsentrasi ion dalam larutan dan valensi ion pengimbang (*counter ions*) (Morais *et al.*, 1976; Oades *et al.*, 1989). Hal ini memberikan petunjuk bahwa muatan variabel dapat dirubah dengan memanipulasi pHo dan konsentrasi larutan tanah. Manipulasi tersebut dilakukan dengan cara menurunkan nilai pHo di bawah pH tanah atau menaikkan pH tanah di atas nilai pHo.

Bahan yang dapat menyumbang muatan negatif pada tanah adalah silikat, fosfat dan bahan organik. Menurut Allorerung (1988), pemberian silikat dalam bentuk kalsium silikat atau terak baja

(*basic slag*) dapat menurunkan nilai pHo seperti tercermin dari selisih pH KCl dan pH H₂O yang semakin bertambah negatif dengan meningkatnya takaran pemberian silikat. Selanjutnya Wann dan Uehara (1978) mendapatkan bahwa fosfat terabsorpsi mampu menurunkan nilai pHo dan meningkatkan kerapatan muatan negatif pada setiap nilai pH di atas pHo. Naidu *et al.* (1990) melaporkan bahwa pemberian P dapat menurunkan jumlah muatan positif dan menaikkan muatan negatif. Sedangkan Gillman (1985) melaporkan bahwa pHo dapat diturunkan satu unit dengan menaikkan kandungan C-organik 1% atau kandungan P dapat terekstrak 100 ppm pada tanah Oxisols di Queensland, Australia. Peningkatan kandungan C-organik dari 1 menjadi 4% dapat menurunkan pHo dari pH 6,5 menjadi 3,8 (Oades *et al.*, 1989). Kondisi yang telah disebutkan di atas mengindikasikan bahwa pHo dapat dimanipulasi dengan pemberian silikat, fosfat dan bahan organik.

Cara lain untuk meningkatkan muatan negatif pada tanah bermuatan variasi adalah menaikkan pH tanah di atas pHo dengan pemberian kapur. Naidu *et al.* (1990) mendapatkan muatan negatif Typic Haplustox meningkat dari 8 menjadi 38 cmol(+)/kg dengan pemberian kapur untuk menaikkan pH dari 4,5 menjadi sekitar 7,2. Penelitian ini bertujuan untuk menetapkan titik muatan nol (TMN) dan memanipulasi muatan koloid tanah berkembang lanjut untuk meningkatkan kualitasnya.

BAHAN DAN METODE

Bahan penelitian

Penelitian dilakukan di rumah kaca dan laboratorium menggunakan tanah Oxisols yang diambil dari Sitiung, Sumatera Barat dan Sonay, Sulawesi Tenggara. Pemilihan dua lokasi tersebut didasarkan pada perbedaan bahan induk tanah. Tanah Oxisols Sumatera Barat berkembang dari bahan induk vulkan/sedimen dan mineralnya didominasi oleh kaolinit, sedangkan tanah Oxisols

Sulawesi Tenggara berkembang dari bahan induk ultrabasis. Perbedaan bahan induk tanah pada kedua lokasi tersebut diperkirakan berpengaruh pada perbedaan jumlah muatan koloidnya. Contoh tanah setiap lokasi diambil pada dua lapisan yaitu 0-20 cm dan 20-40 cm, karena kedua lapisan tersebut mempunyai perbedaan jumlah muatan negatif (Gallez *et al.*, 1976; Morais *et al.*, 1976).

Metode penelitian

Analisis tanah untuk menentukan nilai titik muatan nol (TMN) dilakukan menurut metode yang dikemukakan oleh Gillman dan Sumner (1987). Secara singkat TMN ditetapkan dengan cara menjenuhi contoh tanah dengan larutan 0,1M CaCl₂, kemudian dicuci dengan 0,002M CaCl₂ dan pH diukur setelah kondisi seimbang (*equilibrium*) tercapai. Selanjutnya nilai pH diturunkan atau dinaikkan dengan penambahan HCl atau Ca(OH)₂ untuk mendapatkan kisaran pH dari pH 3 - 7. Setelah pembacaan pH konstan, maka nilai pH dinyatakan sebagai pH 0,002. Selanjutnya, konsentrasi elektrolit dinaikkan dengan penambahan 0,5 ml larutan 2M CaCl₂ dan pH diukur setelah tercapai keseimbangan, dan dinyatakan sebagai pH 0,05. Nilai Δ pH (pH 0,05 - pH 0,002) diplot terhadap nilai pH 0,002 dan titik perpotongannya dinyatakan sebagai TMN atau nilai pHo. Penetapan nilai kapasitas tukar kation (KTK) tanah dilakukan menggunakan NH₄-asetat yang dibuffer pada pH 7 dan NH₄Cl tanpa dibuffer (sesuai pH tanah) (Soil Survey Staff, 1972) yang masing-masing menunjukkan KTK tanah artifisial dan KTK tanah kondisi alamiah. Nilai KTK pH 7 dinyatakan artifisial karena diukur dengan menaikkan pH dari kondisi alamiah ke pH 7, sehingga tercipta muatan negatif secara artifisial.

Analisis tekstur menggunakan metode pipet dan C-organik dengan metode Walkley dan Black. Analisis difraksi X-ray (XRD) dilakukan pada contoh tanah terorientasi fraksi < 2 μ m. Perlakuan meliputi penjenuhan Mg, Mg gliserol dan penjenuhan K, yang diikuti dengan pemanasan 550°C untuk menetapkan jenis mineral liatnya. Contoh tanah

dianalisis menggunakan Philips PW 3710 dengan penyinaran Cu K α yang dioperasikan pada 40kV dan 25mA. Proporsi setiap jenis mineral liat diduga secara semikuantitatif berdasarkan luas area dari hasil kali antara tinggi difraktogram (*peak*) dengan lebar difraktogram pada setengah tinggi.

Percobaan di rumah kaca menggunakan 4,5 kg/pot tanah kering angin yang telah dihaluskan dan dicampur secara merata. Ketebalan tanah di dalam pot 30 cm. Percobaan disusun berdasarkan rancangan acak kelompok dengan perlakuan dua jenis Oxisols (Sonay dan Sitiung) dari lapisan atas (0-20 cm) dan lapisan bawah (20-40 cm). Setiap jenis Oxisols dan lapisan tanah diberi perlakuan sebagai berikut: kontrol (K), 100 ppm P (P1), 200 ppm P (P2), 400 ppm P (P3), terak baja 2 t/ha (T1), 4 t/ha (T2), 8 t/ha (T3), bahan organik 10 t/ha (O1), 20 t/ha (O2), 40 t/ha (O3), kapur 1,5 t/ha (L1), 3 t/ha (L2) dan 6 t/ha (L3). Setiap perlakuan diulang tiga kali. Sebagai pupuk dasar digunakan 150 kg KCl/ha dan 150 kg urea/ha. Sumber pupuk P adalah SP-36, dan kapur yang digunakan adalah CaCO₃. Pemberian pupuk K dicampur secara merata pada kedalaman 0-10 cm pada tanah dalam pot. Hal ini dimaksudkan untuk melihat perbedaan jumlah hara K yang tercuci ke lapisan bawah, akibat perbedaan jumlah muatan negatif yang disebabkan oleh perlakuan P, terak baja, bahan organik dan kapur. Jika kation K banyak tertahan di lapisan tanah atas, berarti telah terjadi modifikasi muatan koloid tanah menjadi lebih negatif oleh perlakuan P, terak baja, bahan organik dan kapur sehingga pencucian K berkurang. Sebaliknya, jika jumlah K yang tercuci tidak ada perbedaan antara kontrol dan perlakuan P, terak baja, bahan organik dan kapur berarti perlakuan P, terak baja, bahan organik dan kapur tidak mampu menciptakan muatan negatif pada koloid tanah, sehingga K langsung tercuci. Tanaman indikator adalah kedelai. Pengamatan agronomis meliputi berat kering brangkas dan biji. Contoh tanah untuk analisis K-total dan K-tersedia diambil setiap 10 cm peningkatan kedalaman tanah dalam pot, untuk melihat perubahan pencucian K akibat perlakuan.

Tabel Hasil analisis kimia tanah Oxisols yang digunakan dalam penelitian

1.
Table Chemical properties of Oxisols used in the experiment

Lapisan	Tekstur			Ret. P	Kation tukar				Jumlah kation	KTK pH 7	KTK NH ₄ Cl	Al ⁺³ 1MKCl	Kej. Al	Kej. basa
	Pasir	Debu	Liat		Ca	Mg	K	Na						
cm	%			cmol(+)/kg tanah							%			
Oxisols dari Sonay (OSY)														
0 - 20	4	67	29	51,9	4,5	1,3	0,1	0,1	5,58	11,7	5,60	0,1	0,1	50,3
20 - 40	36	21	43	67,2	0,7	0,3	tt	tt	1,07	3,8	1,70	tt	0,0	28,5
Oxisols dari Sitiung (OSG)														
0 - 20	6	16	78	56,7	0,4	0,2	0,1	tt	0,64	8,9	5,30	2,5	79,4	7,2
20 - 40	5	4	91	54,9	0,4	0,1	0,0	tt	0,54	6,9	4,29	2,6	82,6	7,9

tt = tidak terdeteksi; Kej = kejenuhan; Ret = retensi.

Tabel Nilai pH tanah, pH_o, C-organik, besi bebas dan kandungan mineral pada Oxisols yang digunakan dalam penelitian

2.
Table Soil pH value, pH_o, organic C, free iron, and mineral composition of Oxisols used in the experiment

Lapisan	pH*	pH _o	pH*-pH _o	pH KCl	C	Fe ₂ O ₃	Liat		Mineral tambahan		
							Ka	Il	Gb	Hm/Gt	Kr
cm	%										
Oxisols dari Sonay (OSY)											
0 - 20	4,52	3,5	1,02	4,8	3,3	9,9	73 [□]	10	6	6	5
20 - 40	4,42	5,0	-0,58	5,1	0,9	7,6	80 [□]	tt	6	7	7
Oxisols dari Sitiung (OSG)											
0 - 20	4,07	3,5	0,57	3,8	2,1	6,4	97	tt	3	td	2
20 - 40	4,17	3,5	0,67	3,9	1,2	6,1	97	tt	3	td	2

pH* = pH CaCl₂ (1:10); Ka = kaolinit; Il = illit; Gb = gibsit; Hm = hematit; Gt = gutit; Kr = kuarsa; [□] = kaolinit disorder; td = tidak ditetapkan; tt = tidak terdeteksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat tanah sebelum percobaan

Sifat kimia tanah Oxisols dari daerah Sonay (OSY) sangat berbeda dengan Oxisols dari daerah Sitiung (OSG) (Tabel 1 dan 2). OSY mempunyai nilai sifat kimia lebih rendah pada kandungan liat, KTK, Al tukar dan kejenuhan Al dibandingkan dengan OSG. Di pihak lain nilai pH KCl dan besi bebas lebih tinggi pada OSY dibandingkan dengan OSG. Nilai pH KCl OSY sekitar satu sampai 1,2 unit lebih tinggi dari OSG. Kejenuhan Al (<1%) tidak menjadi masalah pada OSY, sedangkan pada

OSG menjadi masalah karena nilainya mencapai 79-83%.

Komposisi mineral liat pada OSY didominasi oleh kaolinit disorder dan sedikit illit dengan mineral tambahan gibsit, gutit/hematit dan kuarsa. Pada OSG mineral liat hanya terdiri atas kaolinit dengan mineral tambahan sedikit gibsit dan kuarsa (Tabel 2).

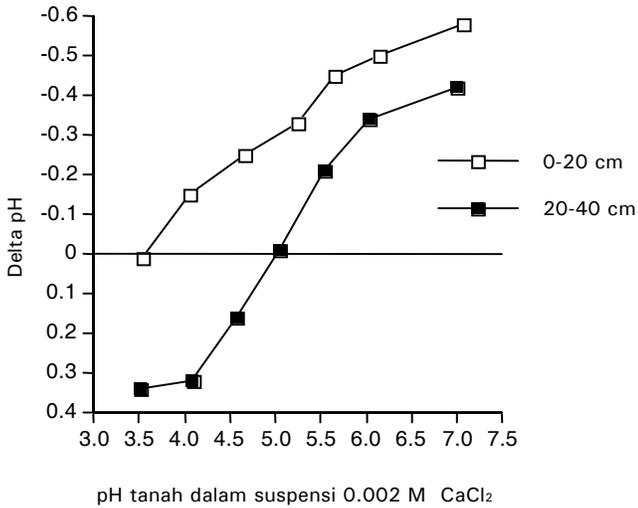
Nilai KTK tanah yang ditetapkan pada pH 7 (NH₄-Acetat 1M) berbeda mencolok dengan KTK yang ditetapkan pada pH tanah (NH₄Cl) pada kedua Oxisols. Nilai KTK OSY pada pH 7 dua kali lebih besar dari KTK yang ditetapkan pada pH tanah,

sedangkan nilai KTK OSG sekitar 1,6 kali. Hal ini menunjukkan akan terjadi kesalahan atau dugaan yang berlebihan mengenai kemampuan tanah menahan kation yang sesungguhnya, apabila interpretasi didasarkan KTK yang diukur pada pH 7. Nilai KTK tanah NH₄Cl pada OSY 5,6 cmol (+)/kg pada lapisan atas dan menurun secara drastis menjadi 1,7 cmol (+)/kg pada lapisan bawah. Selanjutnya nilai KTK NH₄Cl OSG 5,3 cmol (+)/kg pada lapisan atas dan sedikit menurun menjadi 4,3 cmol (+)/kg pada lapisan bawah. KTK yang sangat rendah tersebut, membuktikan perlunya usaha untuk meningkatkan jumlah muatan negatif pada permukaan koloid OSY dan OSG agar pencucian kation dapat diminimalkan.

Nilai titik muatan nol (TMN atau pHo) antara tanah OSY dan OSG berbeda seperti terlihat pada

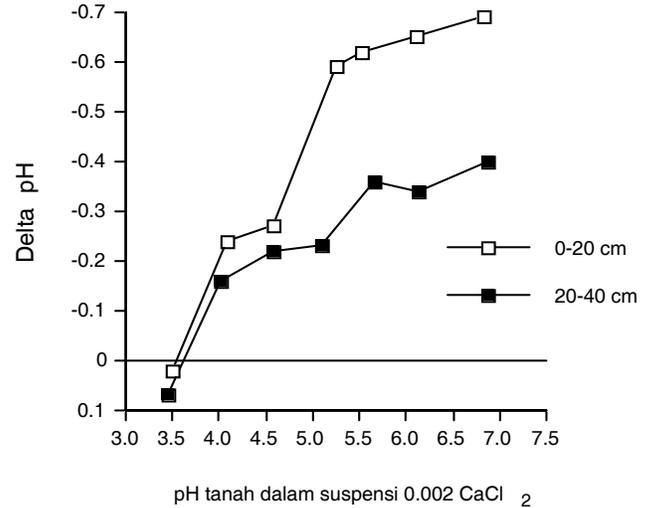
Tabel 2 dan Gambar 1 dan 2. Pada OSY, nilai TMN lebih rendah pada lapisan atas, yaitu 3,5 dan meningkat menjadi 5,0 pada lapisan dibawahnya. Nilai TMN lapisan atas dan bawah OSG sama saja. Kedua nilai tersebut sama dengan nilai TMN OSY lapisan atas. Salah satu hal yang menarik adalah nilai TMN pada lapisan atas OSY 1,5 unit lebih rendah dari lapisan dibawahnya. Hal ini disebabkan kandungan C-organik yang lebih tinggi (3,3%) pada lapisan atas. Kondisi demikian memberikan petunjuk bahwa pHo dapat diturunkan dengan penambahan bahan organik. Peranan bahan organik dalam menurunkan nilai pHo pada tanah Oxisols di Australia telah dilaporkan oleh Gillman (1985) dan Oades *et al.* (1989).

Pada lapisan bawah, nilai TMN OSY lebih tinggi dari pH tanah (5,0 vs 4,4), menunjukkan



Gambar 1. Plotting antara ΔpH dari konsentrasi elektrolit yang berbeda dengan pH tanah untuk menunjukkan titik muatan nol dan perubahan muatan variabel pada lapisan atas dan bawah Oxisols dari Sonay

1. *Figure 1. Plotting between ΔpH of different electrolyte concentration and soil pH to indicate point of zero charge and alteration of variable charge for topsoil and subsoil of Oxisols from Sonay*



Gambar 2. Plotting antara ΔpH dari konsentrasi elektrolit yang berbeda dengan pH tanah untuk menunjukkan titik muatan nol dan perubahan muatan variabel pada lapisan atas dan bawah Oxisols dari Sitiung

2. *Figure 2. Plotting between ΔpH of different electrolyte concentration and soil pH to indicate point zero charge, and alteration variable charge for topsoil and subsoil of Oxisols from Sitiung*

tanah sudah bermuatan positif. Tanah Oxisols yang sudah bermuatan positif juga dilaporkan pada tanah Oxisols di Kalimantan Selatan (Hidayat, 1996; Anda *et al.*, 2000) dan di Kalimantan Barat (Suharta *et al.*, 1995). Secara teoritis, jika koloid tanah sudah bermuatan positif, maka nilai KTK juga seharusnya menjadi nol karena sudah tidak ada muatan negatif untuk menahan kation. Dalam penelitian ini, ternyata tanah lapisan bawah OSY yang sudah bermuatan positif masih mempunyai nilai KTK, walaupun nilainya sangat kecil (2 cmol (+)/kg tanah dalam NH₄Cl). Adanya kemampuan tanah untuk mengikat kation tadi mungkin disebabkan oleh ikatan lain, selain kation yang terikat secara elektrostatik yang diukur dalam penetapan KTK. Kemungkinan terjadi ikatan secara fisik melalui kekuatan ikatan Van der Waals yang timbul karena fluktuasi kerapatan muatan listrik pada individu atom. Menurut Stevenson (1994), fluktuasi muatan listrik positif dalam atom cenderung menghasilkan fluktuasi muatan negatif pada atom sekitarnya, sehingga net muatan negatif dapat dihasilkan. Pada kondisi alamiah muatan tanah selalu dinetralkan dengan mengabsorpsi (*sorption*) anion atau kation lain dari luar (*extraneous cations*), baik yang dapat dipertukarkan maupun yang tidak (Theng, 1994).

Pengaruh perlakuan terhadap sifat tanah

Pengaruh pupuk P, terak baja, bahan organik dan kapur terhadap nilai pH tanah disajikan pada Tabel 3. Setiap perlakuan mampu menaikkan nilai pH_{H₂O} tanah lapisan atas dan bawah OSY dan OSG, kecuali perlakuan P dan bahan organik pada lapisan atas OSY dan lapisan bawah OSG relatif tidak berubah. Nilai pH_{H₂O} perlakuan kontrol pada lapisan atas OSY dan lapisan atas dan bawah OSG lebih tinggi dari nilai pH_{KCl}, menunjukkan bahwa ketiga lapisan tanah tersebut bermuatan negatif. Sebaliknya nilai pH_{KCl} pada lapisan bawah OSY lebih tinggi dari nilai pH_{H₂O}, menunjukkan tanah mempunyai muatan positif.

Tabel 3. Pengaruh perlakuan P, terak baja, bahan organik dan kapur terhadap pH tanah

Table 3. Effect of P, basic slag, organic matter and lime treatments on soil pH

Sandi per-lakuan ^a	Oxisols Sonay				Oxisols Sitiung			
	0-20 cm		20-40 cm		0-20 cm		20-40 cm	
	pH H ₂ O	pH KCl						
K	5,1	4,7	4,8	5,0	4,1	4,0	4,3	4,1
P1*	5,1	4,7	5,3	5,2	4,4	4,0	4,4	4,1
P2	5,1	4,7	5,4	5,2	4,4	4,0	4,4	4,1
P3	5,1	4,7	5,4	5,2	4,4	4,0	4,3	4,1
T1	5,3	4,8	5,7	5,6	4,2	4,0	4,4	4,2
T2	5,6	5,0	5,8	5,5	4,6	4,2	4,5	4,2
T3	5,8	5,3	6,0	5,8	4,8	4,3	4,8	4,4
O1	4,8	4,6	5,4	5,1	4,4	4,1	4,3	4,2
O2	4,7	4,6	5,6	5,5	4,2	4,0	4,5	4,3
O3	5,0	4,8	5,7	5,6	4,4	4,2	4,6	4,4
L1	5,4	4,9	5,6	5,5	4,4	4,1	4,4	4,2
L2	5,7	5,2	6,1	5,9	4,5	4,2	4,7	4,2
L3	6,3	5,8	6,8	6,4	5,4	5,0	5,6	5,2

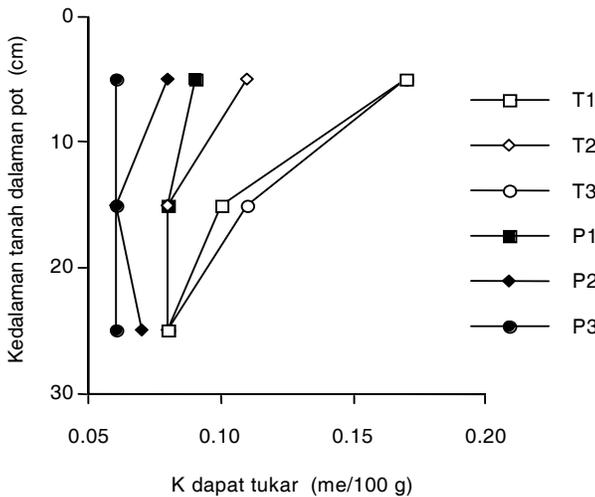
^a K = kontrol, P = fosfat, T = terak baja, O = bahan organik, L = kapur; * = 1, 2, 3 (tingkat takaran dari rendah ke tinggi)

Pada lapisan bawah OSY yang sudah bermuatan positif, setelah diberi pupuk P, terak baja, bahan organik dan kapur, maka nilai pH_{KCl} yang awalnya lebih tinggi dari nilai pH_{H₂O} sebelum perlakuan (kontrol), berubah menjadi lebih rendah dari pH_{H₂O} setelah perlakuan. Hal ini menunjukkan bahwa keempat perlakuan yang dicobakan dapat merubah muatan koloid tanah berkembang lanjut yang bermuatan positif menjadi bermuatan negatif. Implikasinya adalah pupuk P, terak baja, bahan organik dan kapur dapat memperbaiki kualitas tanah seperti yang ditunjukkan oleh meningkatnya nilai KTK tanah karena muatan negatifnya bertambah.

Pengaruh perlakuan terak baja, pupuk P, kapur dan bahan organik terhadap retensi K diamati dengan mengambil contoh tanah dari pot setiap peningkatan 10 cm dari permukaan sampai dasar pot. Pada saat tanam, pupuk KCl dicampur merata hanya pada 10 cm lapisan atas. Asumsinya, jika ada perlakuan yang menyebabkan kadar K tetap terkonsentrasi pada lapisan atas dan menurun dengan bertambahnya kedalaman, maka dapat diinterpretasikan bahwa perlakuan tersebut dapat

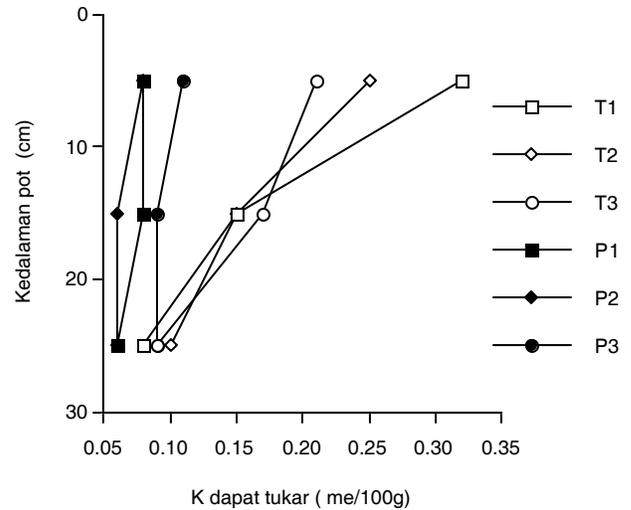
menciptakan muatan negatif pada tanah, sehingga mampu meretensi K atau K tidak tercuci ke lapisan dibawahnya. Sebaliknya, jika kadar K lebih tinggi pada lapisan tanah bawah, atau tidak ada *trend* penurunan dengan bertambahnya kedalaman, maka kondisi tersebut menunjukkan adanya pencucian K dari lapisan atas.

Hasil penelitian menunjukkan pemberian terak baja dan P mampu menahan hara K pada permukaan tanah, baik pada Oxisols Sonay (Gambar 3) maupun Oxisols Sitiung (Gambar 4). Hal ini ditunjukkan oleh kadar K-tersedia yang memperlihatkan *trend* menurun dengan bertambahnya kedalaman. Fakta ini menjelaskan berkurangnya pencucian K dari permukaan tanah. Pengaruh variasi takaran P dan terak baja tidak memperlihatkan *trend* yang jelas dalam menahan hara K. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh takaran K rendah, (hanya 150 kg KCl/ha), sehingga sebagian besar K telah diserap tanaman, dan sisa K yang tinggal pada koloid muatan negatif sama saja, walaupun jumlah muatan negatifnya bertambah dengan meningkatnya takaran P dan terak baja dibanding kontrol.



Gambar 3 Pengaruh takaran P dan terak baja terhadap retensi K-tersedia pada lapisan atas Oxisols Sonay

3. *Figure 3. Effect of different P and basic slag rates on retention of available K on topsoil of Sonay Oxisols*



Gambar 4 Pengaruh takaran P dan terak baja terhadap retensi K-tersedia pada lapisan atas Oxisols Sitiung

4. *Figure 4. Effect of different P and basic slag rates on retention of available K on topsoil of Sitiung Oxisols*

Perlakuan terak baja menunjukkan bahwa K-tersedia yang ada di dalam tanah lebih tinggi dibanding pemberian P, baik pada Oxisols Sonay maupun Oxisols Sitiung. Selanjutnya akibat pemberian terak baja, K-tersedia dalam tanah lapisan atas masih lebih tinggi pada Oxisols Sitiung dibanding Oxisols Sonay. Hal ini disebabkan karena serapan K tanaman (dalam brangkasan dan biji) lebih tinggi pada Oxisols Sonay dibanding Oxisols Sitiung, sehingga K yang tinggal di dalam tanah menjadi lebih kecil pada Oxisols Sonay (Tabel 5). Selanjutnya tidak terlihat perbedaan pengaruh P terhadap K-tersedia antara lapisan atas Sitiung dan Sonay.

Kadar K-tersedia di dalam tanah yang lebih tinggi akibat pemberian terak baja dibanding pemberian pupuk P bukan disebabkan karena lebih banyaknya muatan negatif yang diciptakan oleh terak baja dibanding pupuk P, tetapi lebih disebabkan karena serapan K tanaman lebih besar pada pemberian P. Sehingga, K-tersedia yang tertinggal di dalam tanah menjadi lebih kecil. Hal ini dapat dilihat pada nilai KTK (diukur dalam NH₄Cl)

dengan perlakuan terak baja dan pupuk P, pada perlakuan ini tidak ada perbedaan yang jelas pada empat lapisan tanah yang digunakan.

Implikasi dari penelitian tersebut adalah pemberian terak baja dan P dapat mengurangi pencucian K dari lapisan tanah atas. Dengan kata lain, kedua perlakuan tersebut dapat mengefisienkan pemberian K. Hal ini disebabkan karena pupuk P dan terak baja dapat menciptakan muatan negatif pada tanah, seperti yang ditunjukkan oleh peningkatan KTK tanah yang diukur pada pH tanah yang tidak dibuffer (NH₄Cl), pada lapisan atas dan bawah dari dua tanah Oxisols yang digunakan (Tabel 4). KTK yang ditetapkan pada pH 7 (NH₄-asetat) dan yang ditetapkan dalam NH₄Cl (tidak disangga) berbeda mencolok. Pengukuran KTK pada pH 7 (NH₄-asetat) jelas menunjukkan peningkatan nilai KTK akibat pemberian pupuk P dan terak baja pada lapisan 20-40 cm Oxisols Sonay. Sedangkan pada lapisan atas dan bawah Oxisols Sitiung dan lapisan atas Oxisols Sonay tidak jelas. Hal ini menunjukkan bahwa interpretasi tentang kemampuan tanah untuk meretensi kation berdasarkan pengukuran KTK yang disangga pada pH 7 untuk tanah Oxisols tidak realistis. Kondisi demikian dapat menimbulkan salah interpretasi, karena Oxisols umumnya bereaksi masam. Dengan kata lain, pH alamiah yang mencerminkan kondisi lapang mengalami perubahan pada pengukuran nilai KTK pada pH 7, sehingga hasilnya kurang mencerminkan kondisi lapang. KTK pH 7 hanya akan realistis menggambarkan kondisi lapang jika pH tanah di lapangan dinaikkan sampai pH 7. Suatu kondisi yang biasanya tidak ekonomis, karena untuk mencapai nilai pH tersebut memerlukan takaran kapur yang sangat tinggi. Berdasarkan data Tabel 4, nilai KTK pH 7 (NH₄Act) sekitar 1,4 - 2,4 kali lebih tinggi dibanding nilai kondisi alamiah (KTK NH₄Cl tidak dibuffer). Kondisi yang demikian menunjukkan telah terjadi dugaan yang berlebihan terhadap kemampuan tanah menahan kation, akibatnya lebih banyak kation tercuci daripada yang diperkirakan.

Tabel Pengaruh perlakuan P, terak baja, bahan organik dan kapur terhadap perubahan KTK tanah

4. *Table Effect of P, basic slag, organic matter, and lime treatments on the change of soil CEC*

Sandi perla- kua` n ^a	Oxisols Sonay				Oxisols Sitiung			
	0-20 cm		20-40 cm		0-20 cm		20-40 cm	
	NH ₄ Act	NH ₄ Cl						
	me/100 g							
K	10,8	4,8	4,1	2,1	8,6	4,2	8,0	3,3
P1*	10,8	5,0	5,5	2,8	8,5	5,2	8,0	5,9
P2	10,8	5,9	5,8	2,8	8,6	5,1	8,1	5,0
P3	11,5	5,9	5,7	2,9	8,8	5,2	8,8	5,2
T1	9,7	6,0	5,0	2,9	7,4	4,9	8,1	3,9
T2	9,8	5,7	4,9	2,3	8,5	4,6	8,0	4,5
T3	10,4	6,7	5,4	2,5	8,4	5,3	8,3	5,4
O1	10,4	5,7	5,4	2,1	8,7	5,1	8,8	4,3
O2	10,2	5,8	5,0	2,6	8,5	5,4	8,5	5,0
O3	11,2	6,3	5,6	3,2	9,4	5,5	9,0	4,7
L1	10,6	6,5	4,4	2,1	9,1	5,3	9,4	4,5
L2	10,0	6,6	4,4	2,5	9,2	5,8	9,5	5,2
L3	10,1	7,4	4,4	3,2	9,4	6,5	9,6	5,8

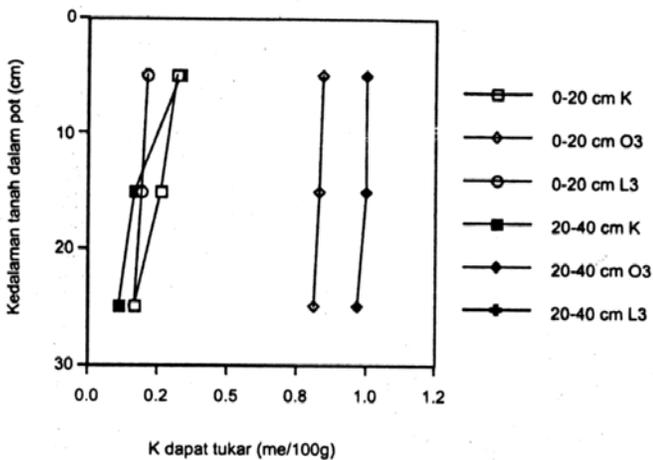
^a K = kontrol, P = fosfat, T = terak baja, O = bahan organik, L = kapur; * = 1, 2, 3 (tingkat takaran dari rendah ke tinggi); NH₄Act = KTK ditetapkan pada pH 7; NH₄Cl = KTK ditetapkan pada pH tanah tanpa dibuffer

Menurut Allorerung (1988) pemberian silikat dalam bentuk kalsium silikat atau terak baja (*basic slag*) dapat menurunkan nilai pH_o, seperti tercermin dari selisih pH H₂O dan pH KCl yang semakin bertambah negatif dengan meningkatnya pemberian takaran silikat. Pramono (1981) melaporkan bahwa pemberian terak baja pada Ultisols di Baturaja yang dapat meningkatkan KTK tanah mengindikasikan adanya peningkatan muatan negatif.

Pada pihak lain, pengaruh bahan organik dan kapur terhadap K-tersedia pada OSY sedikit lebih tinggi pada tanah bagian atas di dalam pot yang menggunakan tanah lapisan 20-40 cm, sedangkan K-tersedia pada pot dengan tanah lapisan 0-20 cm *trend* relatif sama dari permukaan sampai dasar pot (Gambar 5 dan 6). Seandainya K-tersedia terakumulasi pada tanah lapisan bawah, maka *trend* tersebut diinterpretasikan telah terjadi pencucian. Oleh karena itu, walaupun tidak terlihat

adanya akumulasi K di lapisan tanah atas dalam pot, *trend* tersebut tetap diinterpretasi sebagai ada pengaruh bahan organik dan kapur untuk menahan K-tersedia, sehingga tidak tercuci ke lapisan bawah. Hal ini dapat dijelaskan oleh adanya serapan K oleh tanaman, sehingga tidak terlihat lagi K-tersedia terakumulasi dalam tanah. Perkecualian terjadi pada lapisan 20-40 cm OSY. Pada lapisan ini masih terlihat adanya akumulasi K-tersedia di lapisan tanah atas dalam pot, karena tidak banyak serapan K tanaman akibat pertumbuhan yang jelek yang dicirikan oleh berat brangkasan dan biji sangat rendah (Tabel 5).

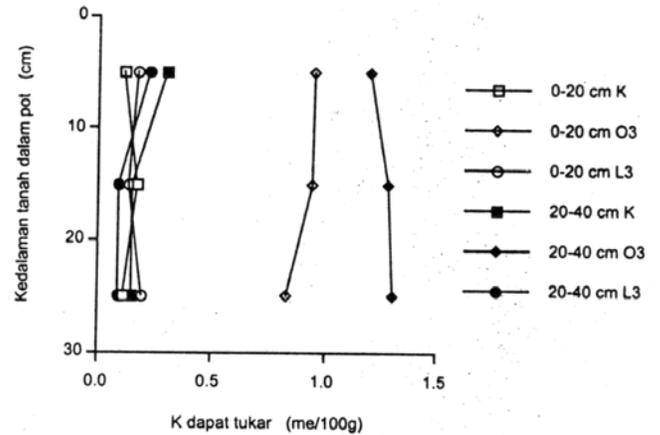
Satu hal yang sangat menarik adalah pemberian bahan organik mampu meningkatkan K-tersedia secara mencolok pada lapisan atas dan bawah, baik Oxisols Sitiung (Gambar 5) maupun Oxisols Sonay (Gambar 6) jika dibandingkan dengan pemberian P, terak baja dan kapur. Kemungkinan ini disebabkan oleh kontribusi K yang berasal dari bahan organik yang digunakan (*gliricidia*). Hasil analisis K-organik dari *gliricidia*



Gambar 5. Pengaruh bahan organik dan kapur terhadap retensi K-tersedia pada lapisan atas dan bawah Oxisols Sitiung

5. Figure *Effect of organic matter and lime on retention of available K on topsoil and subsoil of Sitiung Oxisols*

yang digunakan adalah 1,78%. Peningkatan K-tersedia lebih tinggi pada tanah lapisan bawah (20-40 cm) dibanding tanah lapisan atas (0-20 cm) untuk Oxisols Sonay, sedangkan Oxisols Sitiung relatif sama. K-tersedia lebih tinggi pada lapisan bawah OSY dibandingkan dengan lapisan di atasnya. Hal ini disebabkan oleh pertumbuhan tanaman yang jauh lebih baik pada tanah lapisan atas, sehingga K terkuras banyak, seperti yang ditunjukkan oleh serapan K lebih banyak pada lapisan atas dibandingkan dengan lapisan dibawahnya. Pertumbuhan tanaman pada tanah lapisan bawah sangat jelek, sehingga K-tersedia yang diserap lebih sedikit. Akibatnya K-tersedia masih terakumulasi dalam tanah (Tabel 5).



Gambar 6. Pengaruh bahan organik dan kapur terhadap retensi K-tersedia pada lapisan atas dan bawah Oxisols Sonay

6. Figure *Effect of organic matter and lime on retention of available K on topsoil and subsoil of Sonay Oxisols*

Pengaruh perlakuan terhadap produksi tanaman

Pengaruh modifikasi muatan koloid dengan cara pemberian pupuk P, terak baja, bahan organik dan kapur terhadap produksi kedelai pada setiap lapisan tanah Oxisols disajikan dalam Gambar 7-10. Pemberian pupuk P pada lapisan atas OSY dan lapisan atas dan bawah OSG meningkatkan produksi kedelai secara nyata dibandingkan dengan kontrol (Gambar 7).

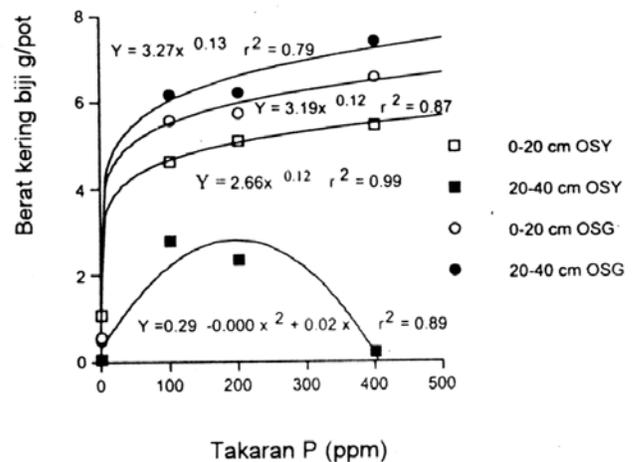
Tabel 5. Pengaruh perlakuan P, terak baja, bahan organik dan kapur terhadap serapan K tanaman

Table 5. Effect of P, basic slag, organic matter and lime treatments on K-uptake of crop

Sandi perlakuan	Brangkasian OSY		Biji OSY		Brangkasian OSG		Biji OSG	
	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm
 mg/pot							
Kontrol	42,8	6,4	11,5	0,0	15,0	11,2	5,5	5,4
P1*	84,8	40,6	51,4	30,9	82,8	64,0	67,4	78,8
P2	76,8	32,2	62,8	26,4	87,3	76,5	75,1	91,8
P3	64,3	13,2	78,2	1,0	95,0	65,8	81,6	101,3
T1	60,0	9,8	28,7	1,0	31,8	27,1	11,9	9,1
T2	62,6	8,0	28,8	1,1	41,9	24,1	15,3	13,4
T3	76,6	10,4	36,8	0,0	47,9	34,1	40,6	25,2
O1	73,5	12,7	22,3	1,3	44,1	25,0	17,2	17,3
O2	68,1	19,6	11,7	1,5	69,3	55,5	31,4	40,0
O3	46,0	23,0	11,2	0,0	138,7	71,8	72,8	61,5
L1	53,6	9,7	22,4	0,3	17,1	12,8	5,8	4,2
L2	51,7	9,7	32,1	0,0	26,1	15,8	11,6	6,3
L3	66,5	11,2	45,4	0,1	34,6	12,2	14,4	5,9

P = fosfat, T = terak baja, O = bahan organik, L = kapur; * = 1, 2, 3 (tingkat takaran dari rendah ke tinggi)

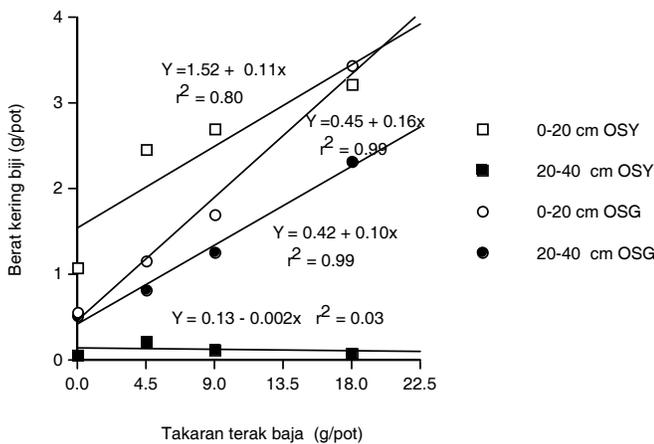
Peningkatan takaran pupuk P, dari 100 ppm menjadi 200 ppm, nyata meningkatkan produksi biji kedelai. Tetapi, peningkatan takaran menjadi 400 ppm P sudah tidak nyata menaikkan produksi, dan *trend* hasil sudah mencapai *eksponensial*. Pada lapisan tanah bawah, peningkatan takaran P dari 100 ppm menjadi 200 ppm tidak berpengaruh nyata, tetapi peningkatan takaran sampai 400 ppm P nyata menurunkan produksi biji kedelai, seperti terlihat pada *trend* produksi yang telah mencapai kuadratik. Pada kasus OSG, peningkatan takaran pupuk P dari 100 ppm menjadi 200 ppm tidak memperlihatkan kenaikan produksi secara nyata, baik pada lapisan tanah atas maupun lapisan bawah, tetapi peningkatan takaran menjadi 400 ppm P nyata menaikkan produksi pada kedua lapisan tanah.



Gambar 7. Pengaruh takaran P terhadap berat kering biji kedelai pada lapisan atas dan bawah Oxisols Sonay (OSY) dan Oxisols Sitiung (OSG)

Figure 7. Effect of phosphorus rates on soybean grain yield on topsoil and subsoil of Sonay and Sitiung Oxisols

Pemberian terak baja pada lapisan tanah atas OSY dapat menaikkan produksi kedelai secara nyata dibandingkan dengan kontrol, sedangkan takaran terak baja 4,5; 9; dan 18 g/pot atau setara 2, 4 dan 8 t/ha secara statistik tidak memperlihatkan perbedaan nyata (Gambar 8). Selanjutnya, pemberian tiga takaran terak baja pada lapisan tanah bawah OSY tidak berpengaruh nyata terhadap produksi biji kedelai dibanding kontrol. Pada kasus OSG, pemberian terak baja pada lapisan tanah atas nyata meningkatkan produksi kedelai, dan peningkatan takaran yang dicobakan hanya nyata menaikkan produksi pada takaran 8 t/ha dibanding takaran 2 dan 4 t/ha. Pengaruh terak baja yang sama juga diperlihatkan pada lapisan tanah bawah. *Trend* kenaikan hasil pada tiga takaran yang dicobakan masih linear, baik pada tanah lapisan atas maupun lapisan bawah.

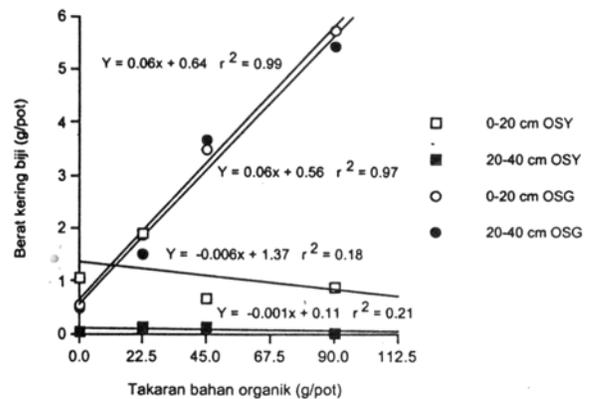


Gambar 8. Pengaruh takaran terak baja terhadap berat kering biji kedelai pada tanah lapisan atas dan bawah Oxisols Sonay (OSY) dan Oxisols Sitiung (OSG)

Figure 8. Effect of basic slag rates on soybean grain yield on topsoil and subsoil of Sonay and Sitiung Oxisols

Pemberian bahan organik pada lapisan tanah atas dan bawah OSG nyata meningkatkan produksi biji kedelai, dan peningkatan takaran (12,5; 25; dan 50 g/pot atau setara 10, 20 dan 40 t/ha) secara konsisten nyata menaikkan produksi biji

kedelai. Takaran bahan organik yang dicobakan masih menunjukkan peningkatan produksi yang linear (Gambar 9). Pemberian bahan organik pada lapisan atas OSY tidak berpengaruh nyata terhadap peningkatan biji kedelai dibanding kontrol. Bahkan terdapat kecenderungan produksi biji menurun dengan meningkatnya takaran bahan organik. Hal ini terjadi karena bahan organik tanah sudah tinggi (3,3% C). Pada lapisan bawah, walaupun bahan organik sangat rendah (0,9% C), pemberian bahan organik tidak dapat meningkatkan produksi. Ada dua kemungkinan alasan: pertama, jumlah bahan organik yang diberikan belum cukup untuk meningkatkan bahan organik tanah seperti yang ditunjukkan oleh kadar C-organik setelah percobaan hanya naik dari 0,9% menjadi 1,3% pada pemberian bahan organik 40 t/ha. Kedua, kurang tersedianya hara lain, khususnya P yang menjadi faktor pembatas utama pertumbuhan tanaman pada Oxisols.

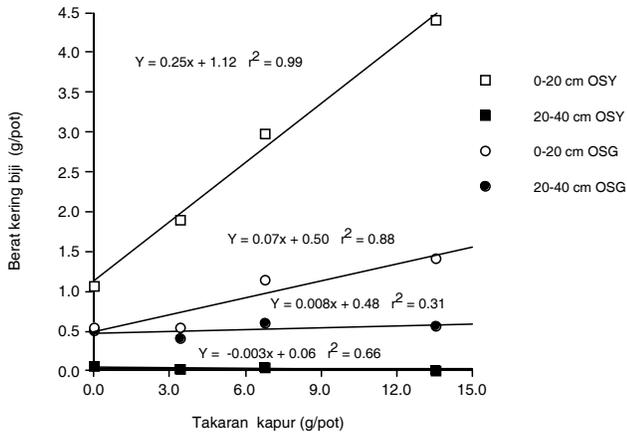


Gambar 9. Pengaruh takaran bahan organik terhadap berat kering biji kedelai pada lapisan tanah atas dan bawah Oxisols Sonay (OSY) dan Oxisols Sitiung (OSG)

Figure 9. Effect of organic matter rates on soybean grain yield on topsoil and subsoil of Sonay and Sitiung Oxisols

Pemberian kapur nyata menaikkan produksi biji kedelai hanya pada OSY lapisan atas (0-20 cm) pada takaran 6,75 dan 13,5 g/pot atau setara 3 dan 6 t/ha, dengan *trend* kenaikan hasil linear

(Gambar 10). Pada lapisan bawah OSY dan lapisan atas dan bawah OSG, kapur tidak berpengaruh nyata dibandingkan dengan kontrol. Akan tetapi terdapat kecenderungan kenaikan produksi kedelai pada tiga takaran kapur yang dicobakan pada kedua lapisan tanah OSG.



Gambar Pengaruh takaran kapur terhadap berat kering biji kedelai pada lapisan atas dan bawah Oxisols Sonay (OSY) dan Oxisols Sitiung (OSG)

10.

Figure Effect of lime rates on soybean grain yield on topsoil and subsoil of Sonay and Sitiung Oxisols

KESIMPULAN

1. Nilai titik muatan nol (TMN atau pHo) pada lapisan atas Oxisols Sonay dan lapisan atas dan bawah Oxisols Sitiung adalah sama, dan dicapai pada pH 3,5. Nilai TMN yang lebih rendah dari pH tanah tersebut menunjukkan bahwa tanah masih bermuatan negatif. Sebaliknya nilai pHo lapisan tanah bawah Oxisols Sonay lebih tinggi dari pH tanah, menunjukkan tanah tersebut bermuatan positif.
2. Manipulasi muatan permukaan koloid tanah dengan pemberian pupuk P, terak baja, kapur dan bahan organik dapat meningkatkan muatan negatif tanah, seperti yang ditunjukkan oleh

peningkatan nilai KTK tanah (NH₄Cl tidak disangga), sehingga mampu mengurangi pencucian kation seperti K dari permukaan tanah.

3. Kualitas tanah Oxisols dapat diperbaiki dengan pemberian pupuk P, terak baja, bahan organik dan kapur. Produksi tertinggi pada Oxisols Sonay dicapai pada pemberian pupuk P, diikuti berturut-turut oleh pemberian kapur, terak baja dan bahan organik. Pada Oxisols Sitiung produksi tertinggi berturut-turut dicapai pada pemberian P, bahan organik, terak baja dan kapur.
4. Oxisols Sonay secara konsisten menunjukkan produksi lebih tinggi pada lapisan atas dan turun secara drastis pada lapisan bawah. Hal ini mengisyaratkan bahwa lapisan tanah bawah sangat tidak produktif, sehingga tanah lapisan atas harus diawetkan untuk mempertahankan produksi. Pada Oxisols Sitiung, produksi kedelai pada lapisan atas dan bawah relatif sama dan lebih tinggi dari Oxisols Sonay, karena Oxisols terakhir telah berkembang lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

Anda, M., N. Suharta and S. Ritung. 2000. Development of soils derived from weathered sedimentary, granitic and ultrabasic rocks in South Kalimantan Province: I. Mineralogical composition and chemical properties. *Jurnal Tanah dan Iklim* 18: 1 - 10.

Allorerung, D. 1988. Pengaruh Pemberian Terak Baja pada Podsolik Merah Kuning terhadap Ciri Kimia Tanah, Kadar dan Serapan Hara, serta Produksi Tanaman Tebu (*Saccharum officinarum* L.). Disertasi Fakultas Pasca Sarjana, IPB, Bogor. (Tidak dipublikasikan).

Gallez, A., A.S.R. Juo, and A.J. Herbillon. 1976. Surface and charge characteristics of selected soils in the tropics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40:601-608.

Gast, R.G. 1977. Surface and colloid chemistry. p.27-73. *In* J.B. Dixon and S.B. Weed (Eds.) Minerals in soil environments. Soil Sci. Soc. Am. Madison, Wisconsin, USA.

- Gillman, G.P. 1985.** Influence of organic matter and phosphate content on point of zero charge of variable charge components in oxidic soils. *Aust. J. Soil Res.* 23:643-646.
- Gillman, G.P. and M.E. Sumner. 1987.** Surface charge characterization and soil solution composition of four soils from the southern piedmont in Georgia. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:589-594.
- Harding, I. 1995.** Colloid Science. University of Technology. Suinburne, Australia.
- Hidayat, A. 1996.** Karakteristik dan Genesis Tanah Oxisol di Daerah Perkebunan Tebu Lahan Kering Pelaihari. Thesis S3, Program Pasca Sarjana, IPB, Bogor.
- Mehra, O.P. and M.L. Jackson. 1960.** Iron oxides removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Miner.* 7:317-327.
- Morais, F.I., A.L. Page, and L.J. Lund. 1976.** The effect of pH, salt concentration, and nature of electrolytes on the charge characteristics of Brazilian tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40:521-527.
- Naidu, R., J.K. Syers., R.W. Tillman, and J.H. Kirkman. 1990.** Effect of liming and added phosphate on charge characteristics of acid soils. *J. Soil Sci.* 41:157-164.
- Oades, J.M., G.P. Gillman, G. Uehara, N.V. Hue, M. Van Noordwijk, G.P. Robertson, and K. Wada. 1989.** Interaction of soil organic matter and variable charge clays. p. 69-95. *In* D.C. Colman, J.M. Oades and G. Uehara (Eds.) *Dynamic of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystem*. NifTal Project, Department of Agronomy and Soil Science College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii.
- Pramono, A. 1981.** Perubahan Sifat Kimia Tanah Akibat Pemberian Terak Baja (*basic slag*). Laporan Masalah Khusus S1, Fakultas Pertanian IPB Bogor.
- Stevenson, F.J. 1994.** Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Soil Survey Staff. 1972.** Soil Survey Laboratory Methods and Procedures for Collecting Soil Samples. US. Dept. Agric. SSIR No.1. US. Govr. Printing Office. Washington, DC. 63p.
- Suharta, N., M. Soekardi, dan B.H. Prasetyo. 1995.** Karakteristik tanah Oxisols sebagai dasar pengelolaan lahan: Studi kasus pada Oxisols di Sanggauledo, Propinsi Kalimantan Barat. *Pembr. Penel. Tanah dan Pupuk* 13:9-20.
- Taylor, R. M. 1987.** Non silicate oxides and hydroxides. p. 129-201. *In* A.C.D. Newman (Ed.) *Chemistry of Clays and Clay Minerals*. John Wiley and Sons, New York.
- Theng, B.K.G. 1994.** The Chemistry of Clay Organic Reactions. Adam Hilger, London.
- Uehara, G., and G.P. Gillman. 1981.** The Mineralogy, Chemistry, and Physics of Tropical Soils with Variable Charge Clays. Westview Press, Boudier, Colorado.
- Van Raij, B., and M. Peech. 1972.** Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36:587-593.
- Wann, S.S., and G. Uehara. 1978.** Surface charge manipulation of constant surface potential soil colloids: I. Relation to sorbed phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:565-570.

