

STUDI ERAPAN FOSFOR, BELERANG DAN BORON PADA TANAH ANDISOL SUKAMANTRI, LATOSOL DARMAGA DAN GRUMUSOL CIHEA**Arief Hartono¹⁾, Syaiful Anwar¹⁾ dan Capi Muhtar Lutfi²⁾****¹⁾Staf Bagian Kimia dan Kesuburan Tanah Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Jalan Meranti, Kampus IPB Darmaga 16680****²⁾Alumni Program Studi Ilmu Tanah-S1 Fakultas Pertanian
Institut Pertanian Bogor****ABSTRACT**

The supply of some soil nutrients to plants is largely controlled by sorption reaction, which regulates their concentration in the soil solution. The phosphorus (P), sulphur (S) and boron (B) sorption of Andisol Sukamantri, Latosol Darmaga and Grumusol Cihea were investigated. Langmuir equation was used to determine the sorption maxima and bonding energy constants for P, S and B of the three soils. The results showed that the P sorption maximum and bonding energy constant of Andisol Sukamantri was significantly higher (Tukey's test, $P < 0.05$) than those of Latosol Darmaga and Grumusol Cihea. The P sorption maximum and bonding energy constant of Latosol Darmaga were higher than those of Grumusol Cihea. The relatively same trend occurred for the S and B sorption maxima of the three soils but not for their S and B bonding energy constants. The S and B bonding energy constants of those three soils were not significantly different. For the two soils, Latosol Darmaga and Grumusol Cihea exhibited higher S and B sorption maxima and much lower bonding energy constants compared to those of their P suggested dominant sorption on the surface of minerals. However, within the soils the S bonding energy constants was relatively higher than B bonding energy constants. The results suggested that Andisol Sukamantri had higher P sorption maximum and bonding energy than those of Latosol Darmaga and Grumusol Cihea. Based on the bonding energy constant, P was bounded stronger by sorption sites than S and B. Whereas S was bounded relatively stronger than B.

Key words: boron, phosphorus, sorption, sulphur

PENDAHULUAN

Beberapa hara-hara yang diperlukan tanaman terutama dalam bentuk anion, ketersediaannya dalam tanah sangat dikontrol oleh reaksi erapan (Curtin dan Syers, 2001). Komponen utama pengeras anion adalah alumunium (Al) dan besi (Fe) oksida baik sebagai hidrous oksida atau seskuioksida.

Fosfor (P), belerang (S) dan boron (B) merupakan hara-hara esensial bagi tanaman. Penelitian mengenai erapan P sudah banyak dilakukan akan tetapi karakteristik erapan P sangat spesifik lokasi tergantung tingkat pelapukan tanah dan iklim dimana keduanya mempengaruhi distribusi oksida-oksida Al dan Fe yang amorf dan kristalin (Dubus dan Becquer 2001; Maguire *et al.*, 2001; Henry dan Smith 2002; Agbenin, 2003; Bertrand *et al.*, 2003; Hartono *et al.*, 2005). Sementara untuk S dan B laporan mengenai karakteristik erapan yang berkaitan dengan erapan maksimum dan konstanta ikatan energinya pada order-order tanah yang dominan di Indonesia relatif sangat sedikit,



sehingga penting untuk mendapatkan data-data bagaimana kedua unsur tersebut diserap oleh partikel tanah.

Andisol, Latosol, dan Grumusol merupakan order-order tanah yang penting di Indonesia. Ketiga order tanah tersebut menempati areal yang relatif luas dan banyak diusahakan untuk kegiatan pertanian (Subagyo *et al.*, 2004). Dalam kaitan peningkatan produksi pertanian yang dilakukan pada tanah-tanah tersebut pemupukan merupakan komponen utama yang harus dilakukan. Pemupukan harus berbasis pada pengetahuan tentang perilaku unsur-unsur hara di dalam tanah.

Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan Erapan P, S, B pada tanah Andisol Sukamantri, Latosol Darmaga, Grumusol Cihea.

METODE DAN BAHAN

Contoh tanah. Contoh tanah diambil dari lapisan olah Andisol Sukamantri, Latosol Darmaga dan Grumusol Cihea.

Metoda Penelitian. Contoh tanah dikeringudarkan dan ditumbuk lalu disaring dengan saringan ukuran 2 mm. pH H₂O ditetapkan dengan perbandingan 1:1 (berat/volume) dan diukur dengan menggunakan pH meter. Kadar liat ditetapkan dengan menggunakan metode pipet. C-organik tanah ditetapkan dengan menggunakan metode Walkley dan Black. P-tersedia ditetapkan dengan menggunakan metode Bray-1. Kapasitas Tukar Kation (KTK) dan basa-basa yang dapat dipertukarkan (Ca-dd, Mg-dd, K-dd dan Na-dd) diperoleh dengan mengekstrak tanah dengan 1 mol L⁻¹ NH₄OAc pH 7,0. Ca-dd dan Mg-dd ditetapkan menggunakan atomic absorption spectrophotometer dan K-dd dan Na-dd ditetapkan menggunakan flame emission spectrophotometer. Kejenuhan basa (KB) didefinisikan sebagai rasio total basa-basa yang dapat dipertukarkan dengan KTK, dan dinyatakan dalam persen. Al yang dapat dipertukarkan (Al-dd) diperoleh dengan mengekstrak tanah dengan 1 mol L⁻¹ KCl. Kejenuhan Al didefinisikan sebagai rasio Al yang dapat dipertukarkan dengan total basa-basa yang dapat dipertukarkan ditambah dengan Al yang dapat dipertukarkan dan dinyatakan dalam persen.

Analisis erapan P, S dan B dilakukan dalam dua ulangan menggunakan metode Fox dan Kamprath (1970). Sebanyak 3 g contoh tanah diinkubasi dengan 30 mL larutan 0.01 mol L⁻¹ CaCl₂ yang mengandung larutan P atau S atau B dengan berbagai konsentrasi selama 6 hari pada suhu kamar. Untuk percobaan erapan P, konsentrasi larutan P dalam bentuk larutan KH₂PO₄ diberikan bervariasi yaitu 0-250 mg P L⁻¹ pada tanah Andisol, 0-50 mg P L⁻¹ pada tanah Latosol dan 0-100 mg P L⁻¹ pada tanah Grumusol. Untuk percobaan erapan S, konsentrasi larutan S dalam bentuk larutan K₂SO₄



diberikan bervariasi yaitu 0-150 mg S L⁻¹ pada tanah Andisol, 0-50 mg P L⁻¹ pada tanah Latosol dan 0-50 mg S L⁻¹ pada tanah Grumusol. Sedangkan untuk percobaan erapan B, konsentrasi larutan B dalam bentuk larutan H₃BO₃ diberikan dalam kisaran 0-50 mg B L⁻¹ baik pada tanah Andisol, Latosol dan Grumusol. Suspensi-suspensi tanah tersebut dikocok selama 30 menit, dua kali setiap hari selama masa inkubasi. Setelah kesetimbangan tercapai, suspensi tanah tersebut di sentrifuse selama 3 menit dengan kecepatan 3000 rpm lalu disaring dengan kertas saring. Jumlah P dalam suspensi ditetapkan dengan metode Murphy dan Riley (1962) dan absorban P diukur dengan menggunakan UV-Spectrophotometer pada panjang gelombang 660 nm. Jumlah S dalam suspensi ditetapkan dengan metode Turbidimetri dan absorban S diukur dengan menggunakan UV-Spectrophotometer pada panjang gelombang 420 nm. Jumlah B dalam suspensi ditetapkan dengan prosedur Azomethin-Hydrogen Method seperti dikemukakan oleh Keren (1996). Absorban B diukur dengan menggunakan UV-Spectrophotometer pada panjang gelombang 660 nm.

Data-data erapan P, atau S, atau B disimulasikan ke dalam bentuk linear persamaan Langmuir untuk menentukan erapan maksimum dan konstanta energi ikatan P, atau S atau B. Bentuk linear dari persamaan Langmuir adalah sebagai berikut

$$C/(x/m) = 1/ kb + C/ b$$

dimana:

x/m = Jumlah P atau S atau B yang di erap (mg kg⁻¹)

C = Konsentrasi P atau S atau B dalam larutan pada saat kesetimbangan (mg L⁻¹)

k = Konstanta konstanta energi ikatan P atau S atau B (L mg⁻¹)

b = Erapan maksimum P atau S atau B (mg kg⁻¹)

Standar kebutuhan P yang diekspresikan sebagai P yang di erap pada konsentrasi 0.2 mg P L⁻¹ dalam larutan pada kesetimbangan (P_{0.2}) juga ditentukan. P_{0.2} menunjukkan batas kritis untuk beberapa tanaman pangan dimana pada kondisi tersebut tanaman tidak responsif lagi terhadap pemupukan P (Fox and Kamprath, 1970).

Analisis Statistika. Erapan maksimum dan konstanta energi ikatan yang diperoleh diuji dengan uji Tukey ($P < 0.05$) menggunakan perangkat lunak Minitab 14.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat-sifat umum kimia tanah Andisol Sukamantri, Latosol Darmaga dan Grumusol Cihea. Sifat-sifat umum kimia tanah yang dicobakan disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan penilaian Pusat Penelitian Tanah (1983), untuk tanah Andisol Sukamantri, pH H₂O tanah



adalah masam dan kejenuhan Al tinggi. Status C-organik tanah ini adalah sangat tinggi yang merupakan tipikal tanah-tanah Andosol. Status P-tersedia, K-dd, Ca-dd, Mg-dd, Na-dd adalah termasuk sangat rendah. Status KTK tanah ini termasuk rendah dan status KB sangat rendah.

Untuk tanah Latosol Darmaga, reaksi tanah adalah masam dan kejenuhan Al sangat tinggi. Status C-organik, K-dd dan Na-dd tanah adalah termasuk rendah. Jumlah P-tersedia, Ca-dd dan Mg-dd termasuk sangat rendah. Status KTK tanah termasuk sedang dan KB termasuk sangat rendah.

Untuk tanah Grumusol Cihea, reaksi tanah adalah agak masam dan kejenuhan Al yang sangat rendah. Status P-tersedia dan K-dd termasuk dalam kriteria rendah. Sedangkan C-organik dan Na-dd termasuk sedang. Status Ca-dd dan KTK tanah termasuk dalam kriteria tinggi. Serta Mg-dd termasuk dalam kriteria sangat tinggi.

Rendahnya nilai P-tersedia pada semua tanah yang dicobakan menunjukkan bahwa pemupukan P pada tanah Andosol Sukamantri, Latosol Darmaga dan Grumusol Cihea yang dicobakan ini rendah.

Tabel 1. Sifat-sifat kimia tanah Andisol Sukamantri, Latosol Darmaga dan Grumusol Cihea dan statusnya berdasarkan penilaian Pusat Penelitian Tanah (1983)

Analisis	Andisol Sukamantri	Status	Latosol Darmaga	Status	Grumusol Cihea	Status
pH H ₂ O 1:1	5.3	Masam	4.6	Masam	5.8	Agak Masam
pH KCl 1:1	4.1	-	3.7	-	4.9	-
C-organik (%)	5.05	Sangat tinggi	1.58	Rendah	2.04	Sedang
P-tersedia (mg P kg ⁻¹)	1.7	Sangat Rendah	0.8	Sangat Rendah	6.3	Rendah
Ca-dd (cmol ⁺ kg ⁻¹)	0.88	Sangat Rendah	0.45	Sangat Rendah	11.34	Tinggi
Mg-dd (cmol ⁺ kg ⁻¹)	0.15	Sangat Rendah	0.2	Sangat Rendah	9.55	Sangat Tinggi
K-dd (cmol ⁺ kg ⁻¹)	0.08	Sangat Rendah	0.12	Rendah	0.38	Rendah
Na-dd (cmol ⁺ kg ⁻¹)	0.05	Sangat Rendah	0.13	Rendah	0.54	Sedang
KTK (cmol ⁺ kg ⁻¹)	16.46	Rendah	16.57	Sedang	27.47	Tinggi
KB (%)	7.05	Sangat rendah	5.43	Sangat rendah	79.4	Sangat tinggi
Al-dd (cmol ⁺ kg ⁻¹)	0.96	-	2.36	-	Tr	-
Kejenuhan Al (%)	45.28	Tinggi	72.39	Sangat Tinggi	Tr	Sangat Rendah
Liat (%)	38.53	-	42.26	-	40.21	-

Karakteristik Erapan P, S dan B berdasarkan simulasi persamaan Langmuir

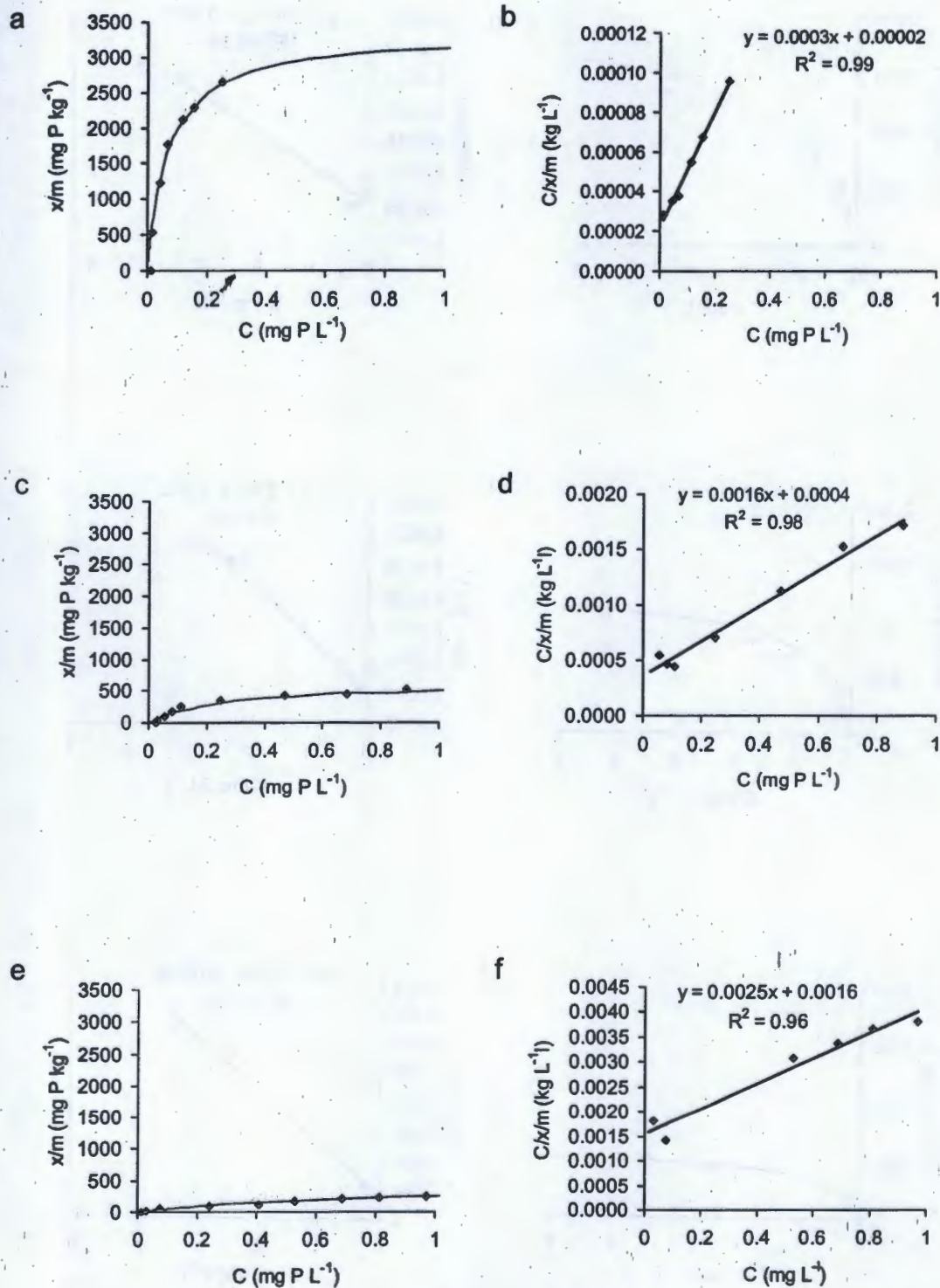


Data percobaan erapan P, S dan B tanah Andisol Sukamantri, Latosol Darmaga dan Grumusol Cihea dan bentuk linear persamaan Langmuirnya masing-masing disajikan dalam Gambar 1, 2 dan 3.

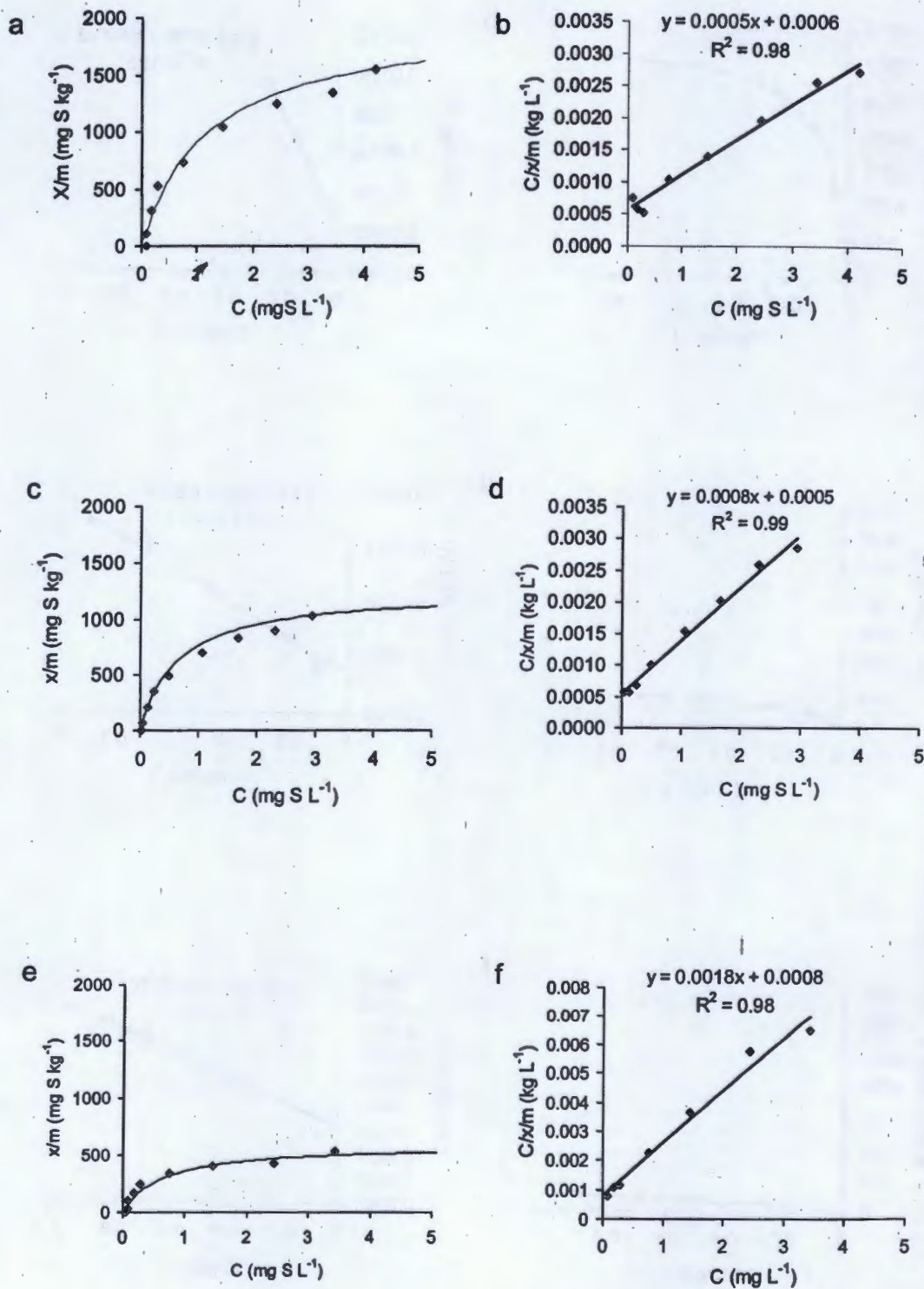
Nilai R^2 dari bentuk linear persamaan langmuir untuk erapan P, S dan B pada tanah Andisol Sukamantri, Latosol Darmaga dan Grumusol Cihea sangat tinggi (Gambar 1, 2 dan 3). Nilainya berkisar dari 0.95-0.99. Hal ini menunjukkan bahwa persamaan Langmuir secara sangat baik dapat menggambarkan data-data erapan P, S dan B dalam percobaan ini.

Dari bentuk linear persamaan Langmuir pada Gambar 1, 2 dan 3 ditentukan nilai-nilai erapan maksimum dan konstanta energi ikatan P, S dan B tanah Andisol Sukamantri, Latosol Darmaga dan Grumusol Cihea. Nilai-nilai erapan maksimum dan konstanta energi ikatan P, S dan B masing-masing disajikan pada Tabel 2, 3 dan 4.



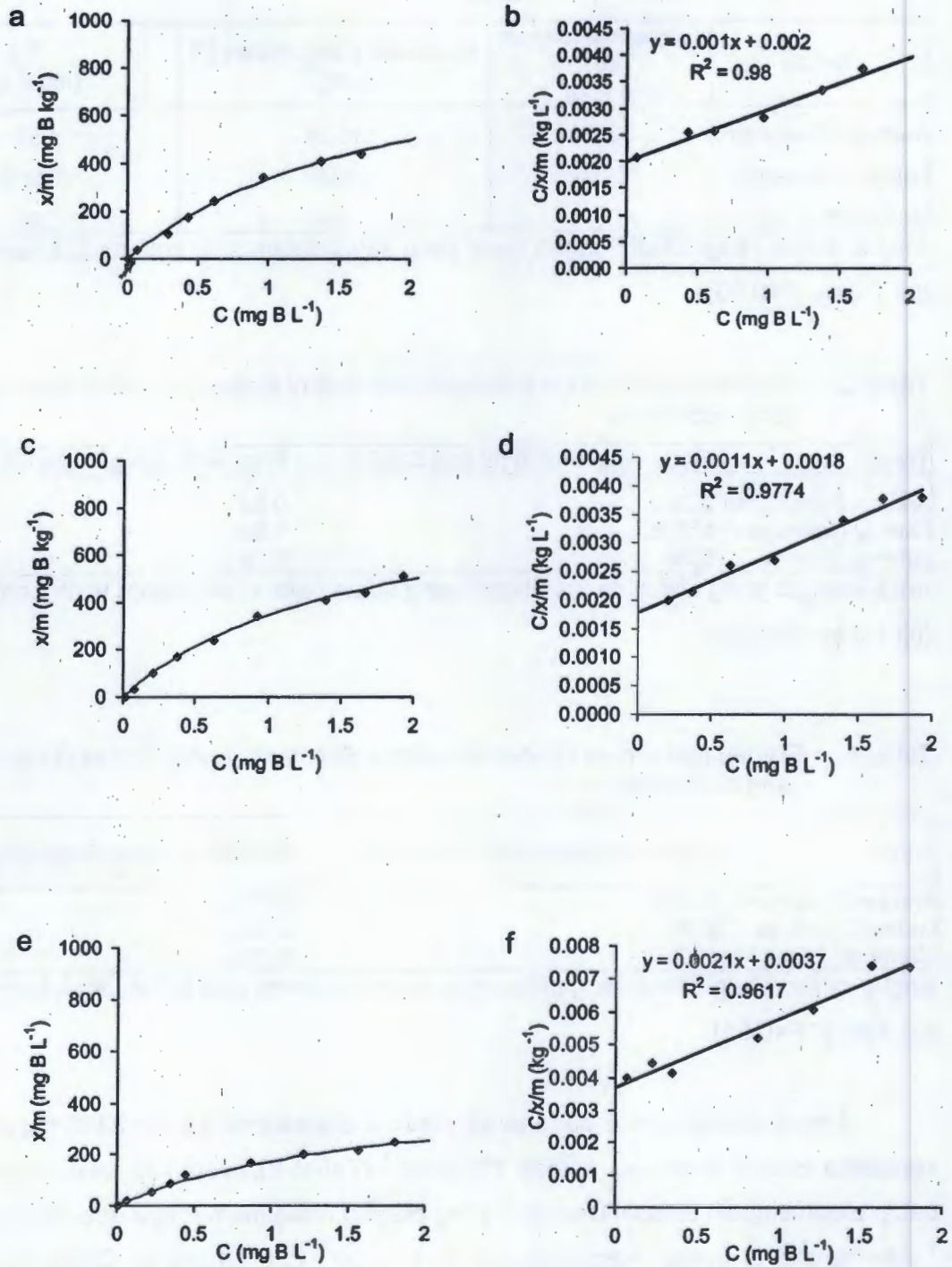


Gambar1. Kurva erapan P dan bentuk linier persamaan Langmuir untuk tanah Andisol Sukamantri (a dan b), Latosol Darmaga (c dan d) dan Grumusol Cihea (e dan f)



Gambar 2. Kurva erapan S dan bentuk linier persamaan Langmuir untuk tanah Andisol Sukamantri (a dan b), Latosol Darmaga (c dan d) dan Grumusol Cihea (e dan f)





Gambar 3. Kurva erapan B dan bentuk linier persamaan Langmuir untuk tanah Andisol Sukamantri (a dan b), Latosol Darmaga (c dan d) dan Grumusol Cihea (e dan f)



Tabel 2. Erapan maksimum (b), konstanta energi ikatan (k) dan standard kebutuhan P tanah-tanah yang dicobakan.

Tanah	Erapan maksimum (b) (mg P kg ⁻¹)	Konstanta energi ikatan (k) (L mg ⁻¹)	P _{0.2} (mg P kg ⁻¹)
Andisol Sukamantri	3333a	15.0a	2500a
Latosol Darmaga	625b	4.0b	277b
Grumusol Cihea	400bc	1.6c	90c

Angka rata-rata yang diikuti dengan huruf yang sama dalam satu kolom tidak berbeda nyata (uji Tukey, $P < 0.05$)

Tabel 3. Erapan maksimum (b) dan konstanta energi ikatan (k) S pada tanah-tanah yang dicobakan.

Tanah	Erapan maksimum (b) (mg S kg ⁻¹)	Konstanta energi ikatan (k) (L mg ⁻¹)
Andisol Sukamantri	2000a	0.8a
Latosol Darmaga	1250b	1.6a
Grumusol Cihea	588c	2.1a

Angka rata-rata yang diikuti dengan huruf yang sama dalam satu kolom tidak berbeda nyata (uji Tukey, $P < 0.05$)

Tabel 4. Erapan maksimum (b) dan Konstanta Konstanta energi ikatan (k) tanah-tanah yang dicobakan.

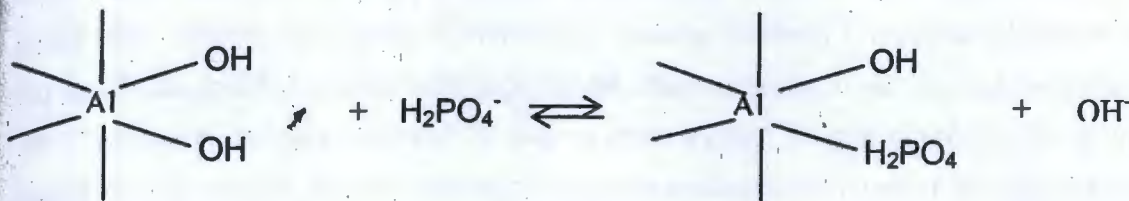
Tanah	Erapan maksimum (b) (mg B kg ⁻¹)	Konstanta energi ikatan (k) (L mg ⁻¹)
Andisol Sukamantri	1000a	0.50a
Latosol Darmaga	909a	0.61a
Grumusol Cihea	476b	0.57a

Angka rata-rata yang diikuti dengan huruf yang sama dalam satu kolom tidak berbeda nyata (uji Tukey, $P < 0.05$)

Erapan maksimum P pada tanah Andisol Sukamantri adalah 3333 mg P kg⁻¹ dan konstanta energi ikatannya adalah 15 L mg⁻¹ (Tabel 2) nyata (uji tukey $P < 0.05$) lebih besar dibandingkan Latosol Darmaga yang erapan maksimum P nya adalah 625 mg P kg⁻¹ dan konstanta energi ikatannya adalah 4 L mg⁻¹ dan Grumusol Cihea yang erapan maksimum P nya adalah 400 mg P kg⁻¹ dan konstanta energi ikatannya adalah 1.6 L mg⁻¹. Hal tersebut menunjukkan bahwa Andisol Sukamantri mampu mengerap P sangat besar dengan konstanta energi ikatan yang sangat kuat dibandingkan Latosol Darmaga dan Grumusol Cihea. Nilai erapan maksimum dan konstanta energi ikatan yang sangat tinggi tersebut disebabkan adanya liat alofan yang bersifat amorf pada tanah Andisol Sukamantri (Birell, 1961; Fassbender, 1968; Kingo *et al.*, 1971; Wada, 1959; Beck *et*



al. 1999). Erapan chemisorption melalui pertukaran ligan antara ion orthofosfat (H_2PO_4^-) dan gugus hidroksil pada alofan yang amorf menyebabkan terjadinya erapan P yang tinggi dengan konstanta ikatan energi yang tinggi pula. Reaksi pertukaran ligan dapat dituliskan seperti dibawah ini.



Pada tanah Latosol Darmaga pertukaran ligan terjadi pada liat silikat kaolinit dan oksida-oksida Al dan Fe yang kristalin (Hartono *et al.*, 2005) yang kemampuan mengerapnya lebih kecil dibandingkan alofan. Jumlah oksida-oksida Fe dan Al yang kristalin yang relatif rendah dan tingginya KTK tanah Grumusol Cihea (Tabel 1) diduga menyebabkan erapan maksimum dan konstanta energi ikatan P paling rendah dibandingkan Andisol Sukamantri dan Latosol Darmaga. Erapan maksimum P Latosol Darmaga pada percobaan ini sesuai dengan hasil penelitian Sanchez (1976) yang menyatakan bahwa tanah kaolinitik termasuk Latosol memiliki erapan berkisar antara 500-600 mg P kg⁻¹ kecuali untuk tanah-tanah yang bertekstur kasar. Hartono *et al.* (2005) mendapatkan nilai erapan maksimum dan konstanta energi Latosol Darmaga pada tempat yang lain pada kedalaman 0-13 cm adalah 526 mg P kg⁻¹ dan konstanta energi ikatan 6.33 L mg⁻¹.

Pada erapan maksimum S, urutan erapan tanah-tanah yang dicobakan mengikuti pola erapan maksimum P akan tetapi konstanta energi ikatan S tidak berbeda nyata (uji Tukey, $P < 0.05$) untuk semua order tanah (Tabel 3). Erapan maksimum S tanah Andisol adalah 2000 mg S kg⁻¹ dan konstanta energi ikatannya adalah 0.8 L mg⁻¹ sedangkan erapan maksimum S Latosol Darmaga adalah 1250 mg S kg⁻¹ dan konstanta energi ikatannya adalah 1.6 L mg⁻¹ serta erapan S Grumusol Cihea sebesar 588 mg S L⁻¹ dengan konstanta energi ikatannya 2,1 L mg⁻¹. Mekanisme erapan S sama dengan mekanisme erapan P melalui pertukaran ligan dan S di erap lebih sedikit daripada P (Chang dan Thomas, 1963) dan nilai konstanta energi ikatan S lebih rendah dibandingkan nilai konstanta energi ikatan P (Hardward dan Reisenauer, 1966). Akan tetapi hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada Latosol Darmaga dan Grumusol Cihea, erapan S relatif lebih besar dibandingkan dengan erapan P. Walaupun demikian pada tanah-tanah ini nilai konstanta energi ikatan S jauh lebih rendah dibandingkan nilai konstanta energi ikatan P. Hal ini menunjukkan bahwa S tidak diikat dominan secara chemisorption

melalui pertukaran ligan akan tetapi diikat pada permukaan koloid (Mattingly, 1975; Tiessen dan Moir, 1993; Hartono *et al.*, 2006). Desorpsi anion yang tererap, sangat ditentukan oleh nilai konstanta energi ikatannya (Hartono *et al.*, 2005) sehingga secara praktikal S jauh lebih tersedia dibandingkan dengan P.

Pola erapan B relatif sama dengan pola erapan S pada semua order tanah. Akan tetapi Andisol Sukamantri memiliki erapan maksimum B yang tidak nyata lebih tinggi dibandingkan Latosol Darmaga dan nyata lebih tinggi dibandingkan Grumusol Cihea (uji Tukey, $P < 0.05$). Sama seperti halnya pada erapan S, konstanta energi ikatannya tidak berbeda nyata (uji Tukey, $P < 0.05$) akan tetapi nilainya lebih rendah dibandingkan dengan nilai konstanta energi ikatan P dan S. Erapan maksimum B tanah Andisol 1000 mg B kg⁻¹ dan konstanta energi ikatannya 0.50 L mg⁻¹ sedangkan erapan maksimum B Latosol Darmaga sebesar 909 mg B kg⁻¹ dan konstanta energi ikatannya adalah 0.61 L mg⁻¹ dan Grumusol Cihea memiliki erapan maksimum B sebesar 476 mg B L⁻¹ dan konstanta energi ikatannya adalah 0.57 L mg⁻¹. Hal ini menunjukkan bahwa sama dengan S, bahwa B tidak diikat dominan secara chemisorption melalui pertukaran ligan akan tetapi diikat pada permukaan koloid. Nilai konstanta energi ikatan B yang lebih rendah dibandingkan dengan S dan P menunjukkan bahwa B jauh lebih tersedia dibandingkan S dan P.

KESIMPULAN

Andisol Sukamantri mempunyai erapan dan energi ikatan P yang lebih tinggi dibandingkan dengan Latosol Darmaga and Grumusol Cihea.

Erapan maksimum S dan B yang lebih tinggi dibandingkan erapan maksimum P pada tanah Latosol Darmaga dan Grumusol Cihea dengan konstanta energi ikatan yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan nilai konstanta energi ikatan P tanah-tanah tersebut menunjukkan bahwa S dan B secara relatif dominant di erap pada permukaan koloid yang bukan erapan chemisorption (pertukaran ligan).

Berdasarkan nilai konstanta energi ikatan, P diikat jauh lebih kuat dibandingkan S dan B. Sementara S relatif diikat lebih kuat dibandingkan dengan B.



DAFTAR PUSTAKA

- Agbenin, J. O. 2003. Extractable iron and aluminum effects on phosphate sorption in a savanna Alfisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 589-595.
- Beck, M. A., W. P. Robarge, and S.W. Buol. 1999. Phosphorus retention and release of anions and organic carbon by two Andisols. *Eur. J. Soil Sci.* 50: 157-164.
- Bertrand, I., R. E. Holloway, R. D. Armstrong and M. J. McLaughlin. 2003. Chemical characteristics of phosphorus in alkaline soils from southern Australia. *Aust. J. Soil Res.* 41:61-76.
- Birell, K. S. 1961. Ion fixation by allophane. *New Zeal. J. Sci.* 4:393-414.
- Chang, M. L., and G. W. Thomas. 1963. A suggested mechanism for sulfate adsorption by soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 31:356-360.
- Curtin, D. and J. K. Syers. 2000. Lime-induced in indices of soil phosphate availability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 147-152.
- Dubus, I. G and T. Becquer. 2001. Phosphorus sorption and desorption in oxide-rich Ferralsols of New Caledonia. *Aust. J. Soil Res.* 39:403-414.
- Fassbender. H. W. 1968. Phosphate retention and its different chemical forms under laboratory conditions for 14 Costa Rica soils. *Agrochimica.* 6:512-521.
- Fox, R. L and E. J. Kamprath. 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 902-907.
- Hartono, A., S. Funakawa and T. Kosaki. 2006. Transformation of added phosphorus to acid upland soils with different soil properties in Indonesia. *Soil Sci. Plant Nutr.* 52: 734-744
- Hartono, A., S. Funakawa and T. Kosaki. 2005. Phosphorus sorption-desorption characteristics of selected acid upland soils in Indonesia. *Soil Sci. Plant Nutr.* 51: 787-799
- Harward, M. E., and H. M. Reisenauer. 1966. Reactions and movement of inorganic sulfur. *Soil Sci.* 101:326-335.
- Henry, P. C. and M. F. Smith. 2002. Phosphorus sorption study of selected South African soils. *S. Afr. J. Plant Soil.* 19: 61-69.
- Keren, R. 1996: Boron. In: Spark D. L., Page A. L., Helmke P. A., Loeppert R. H., Soltanpour P. N., Tabatai M. A., Johnston, C. T., and Sumner, M. E. (eds.) *Methods of Soil Analyses Part 3 Chemical Methods.* p. 603-626, ASA and SSSA, Madison, WI.



- Kingo, T. and P. F. Pratt. 1971. Nitrate adsorption. II. In competition with chloride, sulfate, and phosphate. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35:725-728.
- Maguire, R. O., R. H. Foy, J. S. Bailey and J.T. Sims. 2001. Estimation of the phosphorus sorption capacity of acidic soils in Ireland. *Eur. J. Soil Sci.* 52: 479-487.
- Mattingly, G. E. G. 1975. Labile phosphorus in soils. *Soil Sci.* 119: 369-375
- Murphy, J. and J. P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta.* 27: 31-36.
- Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. 1983. Jenis dan Macam Tanah di Indonesia untuk Keperluan Survei dan Pemetaan Tanah Daerah Transmigrasi.
- Sanchez, P. A. 1976. Properties and Management of soils in Tropics. John Willey and Sons. New York.
- Subagyo, H., N. Suharto, dan A. B. Siswanto. 2000. Tanah Pertanian di Indonesia. *Dalam Pengembangan dan Manajemen Tanah-tanah di Indonesia.* p. 21-65, Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Tiessen, H., and J. O. Moir. 1993. Characterization of available P by sequential extraction. *In Soil Sampling and Methods of Analysis*, Ed. MR Carter, p. 75-86, Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers
- Wada, K. 1959. Reactions of phosphate with allophane and halloysite. *Soil Sci.* 87:325-330.

