

JURNAL

PENELITIAN TANAMAN INDUSTRI

(INDUSTRIAL CROPS RESEARCH JOURNAL)

Volume II No. 4

1996

DAFTAR ISI

	Halaman
Intensitas serangan hama pada beberapa kombinasi pupuk NPK pada tanaman <i>Mentha arvensis</i> I.M. TRISAWA, DECIYANTO S. dan SISWANTO	149
Karakteristik kurva erapan P pada beberapa jenis tanah OCTIVIA TRISILAWATI	155
Analisis usahatani kapas + kedelai menurut jumlah barisan dan sistem pemberian air di lahan sawah tadah hujan P. SATTU TANGITIMBANG dan JERMIA LIMBONGAN	161
Tingkat pendapatan dan taraf hidup petani kapas dan non kapas pada lahan sawah tadah hujan di Kabupaten Takalar - Sulawesi Selatan P. SATTU TANGITIMBANG dan JERMIA LIMBONGAN	170
Tanggapan tiga kultivar kelapa hibrida terhadap pola tata air di lahan pasang surut BAMBANG E.T., DIBYO PRANOWO dan EDI WARDIANA	179
Efisiensi serapan hara dari tiga metode pemupukan yang berbeda pada sistem pembibitan gantung tanaman kelapa SUDIRMAN YAHYA	184



Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian
 Agency for Agriculture Research and Development
PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TANAMAN INDUSTRI
 Central Research Institute for Industrial Crops
 BOGOR - INDONESIA

JURNAL PENELITIAN TANAMAN INDUSTRI : merupakan publikasi ilmiah primer yang memuat hasil penelitian primer komoditi tanaman industri yang belum pernah dimuat pada media apapun, diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Industri. Terbit enam kali setahun.

Penanggung Jawab :

Pasril Wahid, Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Industri, Bogor

Dewan Redaksi :

Pemimpin merangkap
anggota

: Zainal Mahmud (Fisiologi)

Anggota

: Ika Mustika (Fitopatologi)
Elna Karmawati (Entomologi)
Doah Dekok Tarigans (Agronomi)
Sofyan Rusli (Teknologi Pasca Panen)
Sjafiril Kemala (Agroekonomi)
Hobir (Pemuliaan Tanaman)

Redaksi Pelaksana

: Sabar Wirjatmo
Iis Nana Maya
Yatty Rochiaty
Sri Endang Suyati

Alamat Redaksi :

Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Industri
Jl. Tentara Pelajar No. 1, Telp. (0251) 336194, Bogor
Faks. (0251) 336194

Untuk keperluan tukar menukar dan sebagainya, agar menghubungi alamat redaksi.

Biaya cetak dari APBN T.A. 1996/1997, Bagian Proyek Penelitian dan Pengembangan Tanaman Industri

KARAKTERISTIK KURVA ERAPAN P PADA BEBERAPA JENIS TANAH

OCTIVIA TRISILAWATI

Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat

RINGKASAN

Analisa erapan P sebagai salah satu metode untuk memprediksi ketersediaan P telah dilakukan pada 3 jenis tanah, yaitu latosol Cimanggu, latosol Cicurug, dan andosol Lembang. Contoh tanah pada kedalaman lapisan olah diambil dari IP Cimanggu, kebun petani Cicurug dan IP Manoko Lembang. Data konsentrasi P di dalam larutan tanah, P tererap dan kurva erapan P ditentukan berdasarkan metode Singh dan Jones, sedangkan perhitungan persamaan erapan Langmuir berdasarkan metode Olsen dan Watanabe. Hasil analisa kurva erapan P menunjukkan bahwa latosol Cimanggu mempunyai konsentrasi P lebih besar dari 0.2 ppm di dalam larutan tanah awal. Pada latosol Cicurug dan andosol Lembang, konsentrasi 0.2 ppm P di dalam larutan tanah yang digunakan sebagai kriteria umum bagi pertumbuhan tanaman optimal dicapai dengan menambahkan sekitar 1 167.9 kg dan 2 290 kg P_2O_5 /ha. Nilai energi pengikatan (k) untuk latosol Cicurug lebih besar dibandingkan latosol Cimanggu, sedangkan pada andosol Lembang nilai tersebut tidak terukur. Pengapuran dengan 2 ton $CaCO_3$ /ha pada tanah andosol Lembang menghasilkan konsentrasi P di dalam larutan tanah sebesar 0.19 ppm dan menghasilkan berat daun segar pempuyung (*Sonchus arvensis*) terbaik dibandingkan tanpa kapur maupun dosis kapur lainnya.

Kata kunci : Kurva erapan fosfor, tanah, andosol, latosol, Cicurug Cimanggu Lembang

ABSTRACT

Characteristic of phosphorus sorption curve in several soil types

Phosphorus sorption isotherm as a method to predict the P availability of soil was determined on latosol from Cimanggu and Cicurug, and andosol from Lembang. Samples of top soils were taken from Cimanggu Experimental Garden, farmer's field in Cicurug, and Manoko Experimental Garden in Lembang. The data of P concentration in the soil solution, sorped P and phosphorus sorption isotherm were analyzed using Singh and Jones method where the Langmuir sorption isotherm was based on the method of Olsen and Watanabe. The result showed that P concentration in the soil solution of latosol from Cimanggu before treatment was higher than 0.2 ppm. On the other hand, latosol from Cicurug and andosol from Lembang needed an addition of about 1 167.9 kg and 2 290 kg P_2O_5 /ha to reach 0.2 ppm P in the soil solution as a criterion for optimal plant growth. The value of bonding energy (k) of latosol from Cicurug was higher than latosol from Cimanggu, where k value of andosol from Lembang was indefinite. Liming up to 2 ton $CaCO_3$ /ha on andosol from Lembang resulted in 0.19 pp P in soil solution and gave the highest weight of fresh *Sonchus arvensis* leaves compared to those without liming or even other levels of $CaCO_3$ treatments.

Key word : Phosphorus sorption curve, soil, andosol, latosol, Cicurug, Cimanggu, Lembang

PENDAHULUAN

Ion fosfat bergerak menuju perakaran tanaman melalui proses difusi, yang dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu : 1) intensitas (konsentrasi P di dalam larutan tanah), 2) kuantitas (jumlah labil P), 3) kapasitas (P metastabil dan P stabil), dan 4) mobilitas P (serapan P oleh tanaman, pelarutan P dari fase padat, dan transportasi p) (STEVENSON, 1986). Untuk mempertahankan konsentrasi gradient P yang diperlukan bagi berlangsungnya proses difusi tersebut, diperlukan konsentrasi P yang tertentu di dalam larutan tanah. FOX *et al.*, (1975) mengemukakan bahwa konsentrasi P yang optimum pada larutan tanah (kebutuhan eksternal tanaman) berpengaruh terhadap pertumbuhan maksimum pada banyak spesies tanaman, dan untuk setiap tanaman nilainya sangat bervariasi. Sebagai contoh pada tanaman jagung yang tumbuh pada tanah Ultisol dan Oxisol, produksi maksimum di dapat pada konsentrasi 0.05 sampai 0.07 ppm P, sedangkan untuk tanaman kol, ubi jalar dan lettuce produksi maksimumnya pada 0.2, 0.3 dan 0.1 ppm P.

Proses erapan adalah proses akumulasi P pada permukaan mineral tanah dan dapat menyebabkan rendahnya konsentrasi P tanah (SANJAI dan DE DATTA, 1991). Sedangkan kurva erapan P merupakan salah satu metode yang digunakan untuk memprediksi ketersediaan P bagi tanaman yang dihubungkan dengan level konsentrasi P di dalam larutan tanah (RAJAN dan FOX, 1972). P yang tererap pada kondisi equilibrium berhubungan dengan perkiraan kebutuhan P tanaman pada tingkat produksi tertentu. Selain itu, untuk menghasilkan pertumbuhan tanaman yang optimum digunakan kriteria dasar dari kapasitas erapan P tanah, yaitu

pada konsentrasi P di dalam larutan tanah sebesar 0.2 ppm. Kurva erapan P dapat digunakan untuk mengestimasi kebutuhan pupuk P secara langsung serta untuk mengkalibrasi keseimbangan antara konsentrasi P di dalam larutan tanah dengan kebutuhan tanaman tertentu pada tanah-tanah tertentu (JONES dan FOX, 1977).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari karakteristik kurva erapan P pada tanah latosol Cicurug, latosol Cimanggu dan andosol Lembang. Selain itu dipelajari juga konsentrasi P di dalam larutan tanah yang optimum bagi produksi tanaman tempuyung yang tumbuh pada tanah andosol Lembang.

BAHAN DAN METODA

Contoh tanah pada kedalaman lapisan olah diambil dari Instalasi Penelitian Cimanggu, IP Manoko-Lembang, dan kebun petani di Cicurug. Untuk melihat pengaruh konsentrasi P di dalam larutan tanah terhadap pertumbuhan tanaman, diambil contoh tanah dari pertanaman tempuyung yang diberi pupuk dasar 100 kg Urea + 100 kg TSP + dn 50 kg KCl/ha dengan perlakuan pemberian kapur 0, 1, 2 dan 3 ton CaCO₃/ha. Selain itu, data produksi tanaman (berat daun segar) dicatat. Data erapan P diperoleh dengan menginkubasi 2.5 g tanah selama 6 hari di dalam 25 ml 0.01 M CaCl₂. 2H₂O yang mengandung KH₂PO₄ dengan konsentrasi, 0, 20, 40, 60, 80, 100 ppm P (0, 200, 400, 600, 800, 1 000 ug P/g tanah). Untuk mencegah pertumbuhan mikroorganisma ditambahkan 2 tetes toluen 1%. Pengocokan dilakukan 2 kali selama 30 menit selama inkubasi. Pada hari ke-6, konsentrasi P di dalam filtrat dianalisa dengan menggunakan spektrofotometer, setelah disentrifusi selama 5 menit pada kecepatan 10 rpm dan disaring dengan kertas saring Whatman no 42. Jumlah P yang hilang dari larutan dinyatakan sebagai "P tererap tanah".

Untuk menentukan jumlah P tererap tanah digunakan formula dari SINGH dan JONES (1976) sebagai berikut :

$$x = \frac{(a-b)(c)}{d}$$

- x = P tererap, ug P/g
- a = konsentrasi P yang ditambahkan sebagai KH₂PO₄, ppm
- b = konsentrasi P sebelum ditambahkan de-ret kepekatan P, ppm
- c = volume larutan CaCl₂, ml
- d = berat kering tanah, g

Data P tererap di plot sebagai sumbu y sedangkan data konsentrasi P di dalam larutan tanah sebagai sumbu x.

Dengan menggunakan data kurva erapan P, dapat dihitung persamaan erapan Langmuir (OLSEN dan WATANABE, 1957), dan untuk mengetahui kapasitas erapan P tanah dan energi pengikatan P dari partikel-partikel tanah digunakan formula sebagai berikut :

$$\frac{C}{x/m} = \frac{1 + 1/C}{kb \quad b}$$

C = konsentrasi P di dalam larutan tanah, mg P/L

x/m = P yang tererap, mg P/100 g tanah

1/kb = intersep; 1/b = slope

k = konstanta yang berhubungan dengan energi pengikatan dari larutan dan pelarut

b = maksimum erapan P, mg P/100 g tanah

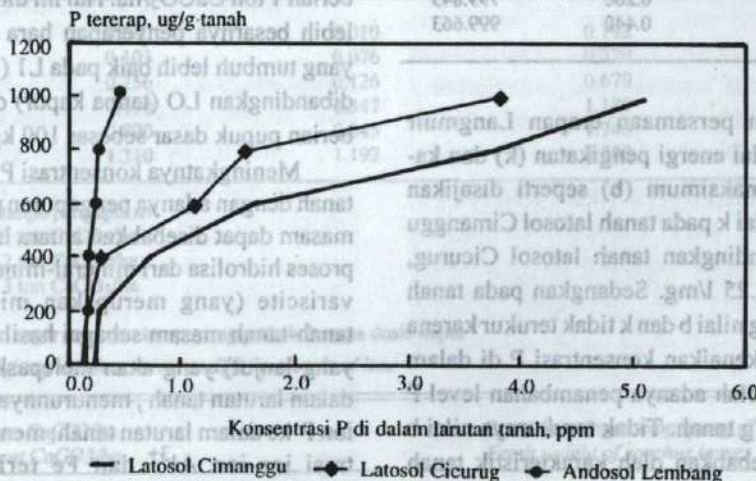
HASIL DAN PEMBAHASAN

Banyaknya P yang tererap pada permukaan mineral tanah (P labil) setelah penambahan beberapa konsentrasi P, menghasilkan konsentrasi P yang tertentu di dalam larutan tanah, dan untuk masing-masing jenis tanah disajikan pada Tabel 1. Selain itu, hubungan antara jumlah P yang tererap dengan konsentrasi P pada kondisi equilibrium untuk ketiga jenis tanah dapat dilihat pada Gambar 1.

Konsentrasi P di dalam larutan tanah merupakan suatu parameter yang secara langsung mempengaruhi erapan P oleh tanaman. Pemberian P dengan level yang berbeda pada ketiga jenis tanah menghasilkan perbedaan konsentrasi P yang terukur pada akhir waktu inkubasi. Adanya penambahan level P yang diberikan (0 - 1 000 ug P/g tanah) akan meningkatkan konsentrasi P di dalam

larutan tanah dan P yang tererap. Terlihat bahwa jumlah P yang tererap pada konsentrasi P tertentu di dalam larutan tanah sangat berbeda untuk masing-masing tanah. Untuk mendapatkan konsentrasi 0.2 ppm P di dalam larutan tanah pada tanah latosol Cicurug dan andosol Lembang, maka P yang tererap masing-masing adalah 255 dan 500 ug/g tanah atau setara dengan 510 kg P/ha (1 167.9 kg P₂O₅/ha) dan 1 000 kg P/ha (2 290 kg P₂O₅/ha). Sedangkan kurva erapan P pada tanah latosol Cimanggu terlihat lebih landai, dan konsentrasi P awal di dalam larutan tanah lebih besar dari 0.2 ppm yang dianggap cukup bagi pertumbuhan yang mendekati maksimum pada sebagian besar tanaman. Kurva erapan P pada andosol Lembang memperlihatkan peningkatan P tererap yang tajam dan rendahnya konsentrasi P di dalam larutan tanah dengan adanya penambahan level P. Selain itu, penambahan level P sampai 1 000 ug/g tanah hanya mampu menaikkan konsentrasi P di dalam larutan tanah dari 0.1 ppm menjadi 0.44 ppm. Perbedaannya cukup besar dengan tanah latosol Cicurug dan latosol Cimanggu yang mempunyai konsentrasi P di dalam larutan tanah masing-masing sebesar 3.75 dan 5.1 ppm setelah penambahan 1 000 ug P/g tanah.

Bervariasinya konsentrasi P di dalam larutan tanah pada ketiga jenis tanah tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain : reaksi fiksasi kimia (konversi ke dalam bentuk yang tidak larut), imobilisasi oleh mikroorganisma, pencucian, dan faktor yang menyangkut tanamannya sendiri, seperti jenis tanaman, volume akar, panen dan lain-lain (STEVENSON, 1986). Sehubungan dengan ketersediaan unsur P dan kemampuan dalam menyerap P, maka tanah andosol mempunyai daya fiksasi P yang tinggi. DJOKOSUDARJO (1974) mendapatkan bahwa pada pemberian 2 000 ppm P, 81% akan diserap oleh tanah andosol, sedangkan 52% sampai 59% diserap oleh tanah latosol, grumosol, ultisol dan tanah-tanah mediteran. Karakteristik tanah andosol yang mengandung bahan amorf tinggi (muatan tanahnya didominasi oleh muatan tergantung pH), KTK maupun KTA (Kapasitas Tukar Kation dan Anion) tinggi, dan pH yang rendah (masam) menyebabkan mudah terfiksasinya anion P. WHITE dan TAYLOR (1977) dalam PARFITT (1978) menerangkan bahwa ketersediaan fosfat tergantung pada aktivitas dari amorfus hidroksida dan oksida Al dan Fe. Untuk tanah-tanah masam, senyawa aluminium fosfat akan terbentuk walaupun pada konsentrasi P yang rendah.



Gambar 1. Kurva erapan P pada tiga jenis tanah
 Figure 1. Phosphorus sorption curve in three soil types

Tabel 1. Konsentrasi P di dalam larutan tanah dan P tererap setelah penambahan beberapa level P pada tanah latosol Cimanggu, latosol Cicurug, dan andosol Lembang

Table 1. Equilibrium solution P concentration and sorbed P at different levels of added solution P for latosols from Cimanggu and Cicurug, and andosol from Lembang

Jenis tanah Soil type	Taraf penambahan P ug P/g tanah Added P	Konsentrasi P di dalam larutan tanah ppm Equilibrium solution P concentration	P tererap ug/g Sorbed P
Latosol Cimanggu	0	0.242	
	200	0.273	199.970
	400	0.724	339.520
	600	1.641	598.602
	800	3.715	796.530
	1 000	5.100	955.100
Latosol Cicurug	0	0.145	
	200	0.164	199.980
	400	0.290	399.920
	600	1.102	599.040
	800	1.560	798.590
	1 000	3.750	966.400
Andosol Lembang	0	0.103	
	200	0.165	199.938
	400	0.172	399.931
	600	0.230	599.873
	800	0.260	799.843
	1 000	0.440	999.663

Perhitungan persamaan erapan Langmuir menghasilkan nilai energi pengikatan (k) dan kapasitas erapan maksimum (b) seperti disajikan pada Tabel 2. Nilai k pada tanah latosol Cimanggu lebih kecil dibandingkan tanah latosol Cicurug, yaitu 0.63 dan 1.25 l/mg. Sedangkan pada tanah andosol Lembang nilai b dan k tidak terukur karena sangat kecilnya kenaikan konsentrasi P di dalam larutan tanah setelah adanya penambahan level P sampai 1 000 ug/g tanah. Tidak terukurnya nilai b dan k dapat disebabkan oleh karakteristik tanah andosol dan sifat bahan amorf (aktivitas dari amorfus hidroksida dan oksida Al serta Fe). HSU (1964) menerangkan bahwa proses erapan merupakan

proses khusus dari presipitasi, dimana Al dan Fe tetap sebagai senyawa bebas dari hidroksida dan oksida pada permukaan mineral liat, yang akan bereaksi dengan ion fosfat pada permukaan liat dengan menggunakan energi yang ada. Sifat kimia dari amorfus hidroksida dan oksida Al dan Fe sangat adsorptif terhadap ion fosfat dan akan bereaksi dengan cepat bila ada kontak langsung. Akan tetapi, jika permukaan amorfus hidroksida dan oksida Al dan Fe hampir jenuh, maka fosfat yang tererap akan lebih mudah tersedia bagi tanaman.

Konsentrasi P di dalam larutan tanah pada pertanaman tempuyung yang tumbuh pada tanah andosol Lembang disajikan pada Tabel 3. Pemberian kapur sampai dosis 3 ton CaCO₃/ha meningkatkan konsentrasi P di dalam larutan tanah. Akan tetapi, konsentrasi P di dalam larutan tanah tertinggi didapat pada dosis 2 ton CaCO₃/ha. Data produksi tanaman yaitu berat daun segar (Tabel 4) terbaik ditunjukkan juga pada dosis yang sama. Pemberian 2 ton CaCO₃/ha ternyata sudah mencukupi kebutuhan tanaman akan pengapuran. Konsentrasi P di dalam larutan tanah pada perlakuan tanpa kapur lebih tinggi dibandingkan pada pemberian 1 ton CaCO₃/ha. Hal ini dimungkinkan oleh lebih besarnya penyerapan hara P oleh tanaman yang tumbuh lebih baik pada L1 (1 ton CaCO₃/ha) dibandingkan LO (tanpa kapur) dan adanya pemberian pupuk dasar sebesar 100 kg TSP/ha.

Meningkatnya konsentrasi P di dalam larutan tanah dengan adanya pengapuran pada tanah-tanah masam dapat disebabkan antara lain oleh : adanya proses hidrolisa dari mineral-mineral strengite dan variscite (yang merupakan mineral penyusun tanah-tanah masam sebagai hasil pelapukan tanah yang lanjut) yang akan melepaskan ion-ion P ke dalam larutan tanah ; menurunnya konsentrasi ion-ion P ke dalam larutan tanah; menurunnya konsentrasi ion-ion Al³⁺ dan Fe terlarut dan dapat dipertukarkan; serta meningkatnya mineralisasi dari P organik (BLACK, 1973 dan KAILA, 1965 dalam MULYADHI, 1988).

Tabel 2. Konsentrasi P di dalam larutan tanah (C), P tererap (x/m, dalam mg P/100 g tanah), dan $C(x/m)^{-1}$ dalam perhitungan regresi dengan menggunakan persamaan Langmuir

Table 2. Equilibrium solution P concentration (C), sorbed P (x/m, mg P/100 g tanah), and $C(x/m)^{-1}$ in regression by the Langmuir isotherm

Jenis tanah Soil type	C ppm	x/m mg/100g	$C(x/m)^{-1}$ 10.-2	1/kb dan 1/b	k	b
Latosol Cimanggu	0.273	19.997	1.365	}	1.286	0.630
	0.724	39.952	1.812			
	1.641	59.860	2.741			
	3.715	79.653	4.664			
Latosol Cicurug	0.164	19.998	0.820	}	0.810	123.430
	0.290	39.986	0.730			
	1.102	59.904	1.840			
	1.560	79.859	1.950			
Andosol Lembang	0.165	19.994	0.825	}	0.671	1.250
	0.172	39.994	0.430			
	0.230	59.989	0.380			
	0.260	79.986	0.320			
	0.440	99.963	0.440		-0.669	tu (tidak terukur)

Tabel 3. Konsentrasi P di dalam larutan tanah dan P tererap pada pertanaman tempuyung pada tanah andosol Lembang

Table 3. Equilibrium solution P concentration and sorbed P of andosol from Lembang on sonchus plantation

Level penambahan P (ug P/g tanah) Added P	Konsentrasi P di dalam larutan tanah (ug/g) Equilibrium solution P concentration			
	LO	L1	L2	L3
0	0.060	0.010	0.193	0.020
200	0.103	0.076	0.329	0.169
400	0.256	0.126	0.679	0.448
600	0.490	0.347	1.180	0.722
800	0.890	0.645	1.740	1.126
1 000	1.310	1.192	2.580	1.840

Keterangan : LO = tanpa pengapuran

Note : L1 = 1 ton CaCO₃/ha

L2 = 2 ton CaCO₃/ha

L3 = 3 ton CaCO₃/ha

Tabel 4. Berat daun segar tanaman tempuyung pada beberapa dosis kapur

Table 4. Fresh weight of sonchus leaves at different levels of lime

Perlakuan CaCO ₃ /ha Treatment CaCO ₃ /ha	Berat daun segar tempuyung(g) Fresh weight of sonchus leaves
tanpa (LO)	75.61 a
1 ton (L1)	82.22 a
2 ton (L2)	84.53 a
3 ton (L3)	81.44 a

KESIMPULAN

Dari ketiga tanah yang diteliti, kurva erapan P menunjukkan bahwa untuk mencapai konsentrasi 0.2 ppm P di dalam larutan tanah sebagai kriteria umum bagi pertumbuhan tanaman optimal, maka tanah latosol Cicurug dan andosol Lembang membutuhkan sekitar 1 167.9 dan 2 290 kg P₂O₅/ha, sedangkan tanah latosol Cimanggu mempunyai nilai awal P di dalam larutan tanah yang lebih besar dari 0.2 ppm.

Nilai energi pengikatan (k) pada tanah latosol Cicurug lebih besar dibandingkan latosol Cimanggu, sedangkan pada tanah andosol Lembang tidak terukur mengingat sangat kecilnya kenaikan konsentrasi P di dalam larutan tanah setelah penambahan level P sampai 1 000 ug/g tanah.

Konsentrasi P di dalam larutan tanah andosol pada pertanaman tempuyung menunjukkan peningkatan dengan adanya pengapuran. Bila dihubungkan dengan produksi tanaman, penambahan 2 ton CaCO₃/ha yang menghasilkan konsentrasi P awal di dalam tanah sebesar 0.19 ppm, menghasilkan berat daun segar tertinggi dibandingkan tanpa kapur maupun dosis kapur lainnya.

DAFTAR PUSTKA

DJOKOSUDARJO, S. 1974. Phosphorus behavior in some soils of Indonesia and its availability to plants. MSc Thesis. University of Wisconsin. Madison.

FOX, R. L., R. K. HASHIMOTO, J. R. THOMPSON, and R. S. DE LAPENA. 1975. Comparative external phosphorus requirements of plants growing in tropical soils. 10th Int. Cong. Soil Sci. (Moscow) 4:232 - 239.

HSU, P.H. 1964. Adsorption of phosphate by aluminium and iron in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28:474-478.

JONES, J.P. and R.L. FOX. 1977. Phosphate sorption curves as a soil testing technique. A simplified approach. Commun. In. Soil Sci. and Plant Anal. 8 :209-219.

MULYADHI, D. 1988. Acidity components and lime requirement of an acid ultisol grown to soybean (*Glycine max*) Merr. MSc. thesis. University of the Philippines. Los Banos-Philippines p12.

OLSEN, S.R. and F.S. WATANABE. 1957. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 21: 144-148.

PARFITT, R.L. 1978. Anion adsorption by soils and soil materials. Advances in agronomy. 30: 1-50.

RAJAN, S.S. and R.L. FOX. 1972. Phosphate adsorption by soils. II. Reactions in tropical acid soils. Soil Sci Soc. Amer. Proc. 39:846-851.

SANJAI, S.K. and S.K. DE DATTA. 1991. Chemistry of phosphorus transformation in soils. In: Stewart, B.A. (ed). Advances in Soil Sci. 16: 1-120.

SINGH, B.B. and J.P. JONES. 1976. Phosphorus sorption and desorption characteristic of soils as affected by organic residues. Soil Sci. Am. J. 44: 500-505.

STEVENSON, F.J. 1986. The phosphorus cycle. Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. John Wiley & Sons p.231-284.

