

Pengaruh Pemberian P-Alam terhadap Jerapan dan Bentuk-Bentuk P Tanah pada Dystrudept Cibatok, Bogor

Effect of Application of Rock Phosphate on Soil P Adsorption and Fractionation at Dystrudepts of Cibatok, Bogor

D. NURSYAMSI¹, L. ANGGRIA², DAN NURJAYA²

ABSTRAK

Pemupukan P baik di lahan sawah maupun lahan kering merupakan tindakan yang harus dilakukan untuk meningkatkan produksi pertanian di Indonesia. Petani biasanya menggunakan pupuk P-alam yang diasamkan, seperti: TSP, SP-36, dan terakhir SP-18 dimana efektivitasnya bervariasi tergantung jenis tanah dan tanaman yang digunakan. Pupuk P-alam mempunyai prospek yang cukup besar untuk digunakan secara langsung di lahan kering masam karena efektifitasnya menyamai P-alam yang diasamkan tapi harganya lebih murah. Percobaan laboratorium yang bertujuan untuk mempelajari pengaruh pemberian P-alam terhadap jerapan dan bentuk-bentuk P tanah serta menetapkan batas kritis P tanah untuk pertumbuhan jagung varietas P-12 telah dilaksanakan dengan menggunakan contoh tanah yang diambil dari bekas percobaan pemupukan P-alam di lapangan, pada tanah Dystrudept berbahan vulkan di Cibatok, Bogor. Analisis jerapan P tanah menggunakan metode Fox dan Kamprath (1970) sedangkan fraksionasinya menggunakan metode Sekiya (1983) yang dimodifikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian P-alam meningkatkan P larut dalam tanah sehingga ketersediaannya untuk tanaman meningkat pula. Selain itu, pemberian P-alam juga meningkatkan semua bentuk P tanah serta nyata meningkatkan P-HCl dan P-Bray I tanah. Bentuk-bentuk P di tanah yang diteliti dari tinggi ke rendah adalah residu-P > organik-P > Fe-P > Al-P > Ca-P dimana bentuk residu-P, Fe-P, dan total-P tanah memegang peranan penting dalam mengendalikan ketersediaan P. Batas kritis Fe-P, residu-P, dan total P tanah untuk jagung varietas P-12 di tanah yang diteliti berturut-turut adalah 320, 510, dan 1250 mg P₂O₅ kg⁻¹.

Kata kunci : P-alam, Jerapan, Fraksionasi P tanah, Dystrudept

ABSTRACT

Phosphorous fertilization in both lowland and upland is an activity that must be done to increase agricultural production in Indonesia. Farmers typically use an acidulated rock phosphate, such as: TSP, SP-36, or SP-18 where its effectiveness varies depending on the type of soil and cultivated crops. Rock phosphate fertilizers have a high prospect to be used directly in acid upland soils because of its effectiveness equals the acidulated rock phosphate but the price is cheaper. Laboratory experiments aimed at studying the effect of the rock phosphate application on soil P adsorption and fractionation as well as determining the critical level of soil P for maize P-12 variety growth have been carried out using soil samples taken from rock phosphate fertilization experiment in the field, at volcanic Dystrudepts soil in Cibatok, Bogor. Analysis for soil P adsorption Fox and Kamprath (1970) methods were used, while its fractionation used modified Sekiya (1983) methods. The results showed that the use of rock phosphate increased soil soluble P

therefore its availability for plant growth increased too. Beside that, it increased all soil P forms as well as soil HCl-P and Bray I-P significantly. P forms in tested soil from high to low were the residual-P > organic-P > Fe-P > Al-P > Ca-P in which the form of residual-P, Fe-P, and total-P played an important role in controlling the availability of soil P. Critical level of soil Fe-P, residual-P, and total-P for maize P-12 variety growth in the soil were 320, 510, and 1,250 mg P₂O₅ kg⁻¹ respectively.

Keywords : Rock Phosphate, Soil P Adsorption, Fractionation, Dystrudepts

PENDAHULUAN

Defisiensi P sering menjadi faktor pembatas pertumbuhan tanaman pada tanah-tanah pertanian, baik di lahan sawah maupun lahan kering. Pada tanah masam seperti Ultisol dan Oxisol, P biasanya dijerap oleh Al dan Fe (kation, oksida, dan hidroksida) serta liat tanah (Brady, 1984; Dobermann *et al.*, 2002; Saleque *et al.*, 2004; dan Johnson dan Loeppert, 2006). Sementara itu pada tanah netral dan alkalin seperti Alfisol dan Vertisol, P dijerap selain oleh Al, Fe, dan liat tanah juga oleh Ca (Brady, 1984; Than and Egashira, 2008). Pada tanah berkapur, anion fosfat umumnya diendapkan oleh Ca menjadi kalsium fosfat yang tidak larut (Frischke *et al.*, 2004). Pada tanah-tanah yang berbahan vulkan, P difiksasi oleh mineral liat amorf, seperti alofan, imogolit, dan lain-lain (Brady, 1984). Mengingat hara P sangat diperlukan tanaman, yaitu merupakan sumber energi untuk proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Marschner, 1997) maka kekahatan P harus segera diatasi dengan pemupukan P agar produksi pertanian nasional meningkat.

1. Peneliti pada Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Pati.
2. Peneliti pada Balai Penelitian Tanah, Bogor.

Untuk memenuhi kebutuhan P tanaman di lahan kering masam, petani biasanya menggunakan pupuk P-alam yang diasamkan (*acidulated rock phosphate*), seperti: TSP, SP-36, dan terakhir SP-18 dimana efektivitasnya bervariasi tergantung jenis tanah dan tanaman yang digunakan. Penggunaan pupuk P-alam secara langsung mempunyai prospek yang cukup besar untuk dikembangkan di lahan kering masam karena efektivitasnya menyamai pupuk P-alam yang diasamkan (TSP dan SP-36), harganya murah, dan dapat melepaskan P ke dalam larutan tanah dengan lambat (*slow release*). Efektivitas penggunaan P-alam sangat ditentukan oleh reaktivitas kimia, ukuran butir, sifat-sifat tanah, waktu dan cara aplikasi, takaran P-alam, jenis tanaman dan pola tanam (Rajan *et al.*, 1996). P-alam Christmas dengan kadar seskuoksida Fe_2O_3 dan Al_2O_3 sebesar 2,5 dan 3,1% memberikan efektivitas yang sama dengan TSP pada tanah Ultisol Terbanggi. Demikian juga P-alam Tunisia memberikan efektivitas yang sebanding dengan TSP terhadap tanaman padi dan kedelai pada tanah Podsolik Merah Kuning Rangkasbitung (Hartatik dan Adiningsih, 1989). Sedyarso (1999) juga melaporkan bahwa penggunaan P-alam pada tanah masam dan miskin P untuk tanaman pangan memberikan respon yang sama dengan penggunaan TSP.

Pengelolaan hara P harus memperhatikan faktor tanaman dan ketersediaannya di dalam tanah. Ketersediaan P di dalam tanah tergantung kepada: (1) jumlah dan jenis mineral tanah, (2) pH tanah, (3) pengaruh kation, (4) pengaruh anion, (5) tingkat kejenuhan P, (6) bahan organik, (7) waktu dan suhu, dan (8) penggenangan (Havlin *et al.*, 1999). Hara P bersifat immobil di dalam tanah karena sebagian besar P tanah dijerap menjadi bentuk tidak tersedia bagi tanaman. Berdasarkan tingkat mobilitasnya di dalam tanah, bentuk-bentuk P dapat dibedakan menjadi: P larut, P labil (tererap), dan P non labil (P mineral primer dan sekunder), dan P organik. P larut berada dalam reaksi keseimbangan dengan P labil, P non labil, dan P organik. Bentuk P selain P larut biasanya disebut sebagai P teretensi atau P terikat.

Ketersediaan P untuk pertumbuhan tanaman tergantung kepada mobilitasnya di dalam tanah dan keseimbangan antara bentuk P larut dan terjerap. Bila P dalam larutan tanah meningkat (misal karena pemberian pupuk P) maka P akan segera dijerap oleh koloid tanah menjadi bentuk tidak tersedia (sementara waktu), proses ini disebut sebagai jerapan (*adsorption*). Namun demikian bila P dalam larutan tanah turun (misal P diserap tanaman atau tercuci) maka P terjerap tersebut akan segera lepas ke dalam larutan sehingga bisa diserap tanaman, proses ini disebut sebagai pelepasan (*desorption*). Proses jerapan dan pelepasan P di dalam tanah mengendalikan bentuk-bentuk P tanah sehingga sangat penting dalam mempengaruhi ketersediaan P tanah.

Batas kritis hara (*critical nutrient concentration*) untuk tanaman pada tanah tertentu perlu ditetapkan terlebih dahulu sebelum menyusun rekomendasi pupuk. Hasil penelitian kalibrasi uji tanah menunjukkan bahwa batas kritis P tanah untuk kedelai di tanah Vertisol adalah 450, 90, 60, dan 38 ppm P_2O_5 masing-masing dengan pengekstrak HCl 25%, Colwell, Truogh, dan Olsen (Nursyamsi dan Nurul Fajri, 2004). Sementara itu di tanah Dystrudept batas kritisnya adalah 10, 30, dan 35 ppm P_2O_5 berturut-turut untuk pengekstrak Mehlich, Olsen, dan Bray II, sedangkan di tanah Ultisol batas kritisnya adalah: 65, 900, dan 90 ppm P_2O_5 masing-masing untuk pengekstrak Truogh, HCl 25%, dan Colwell (Nursyamsi dan Widayati, 2005). Batas kritis P tanah Vertisol di daerah Madiun dan Ngawi untuk padi sawah adalah 5,3 ppm P dengan pengekstrak Olsen (Widjaja-Adhi, 1986). Batas kritis P untuk jagung yang tumbuh di *Typic Paleudults* adalah 3,5 ppm dengan metode Olsen, 5 ppm dengan metoda Bray-I, dan 6 ppm P dengan metode Truog yang dimodifikasi. Untuk jagung yang tumbuh di *Tropeptic Eutrosts* diperoleh batas kritis sebesar 5 ppm P dengan metoda Olsen dan Bray-I, serta 12 ppm P dengan metoda Truog yang dimodifikasi (Widjaya-Adhi dan Silva, 1986). Batas kritis hara P tanah *Typic Dystrandeps* untuk tanaman kentang dengan pengekstrak Bray I adalah $20 \mu g P g^{-1}$ tanah (Widjaja-Adhi dan Widjik, 1984).

Berdasarkan uraian di atas, tampak bahwa penggunaan P-alam secara langsung di tanah masam berpotensi meningkatkan ketersediaan P tanah. Untuk mengetahui bagaimana mekanismenya, dapat dipelajari melalui kurva hubungan antara bentuk P larut dengan P terjerap tanah serta hubungan antara bentuk-bentuk P tanah dengan hasil tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh pemberian P-alam terhadap jerapan dan bentuk-bentuk P tanah serta menetapkan batas kritis P tanah untuk jagung (*Zea mays* L.) pada tanah Dystrudept berbahan vulkan di Cibatok, Bogor.

BAHAN DAN METODE

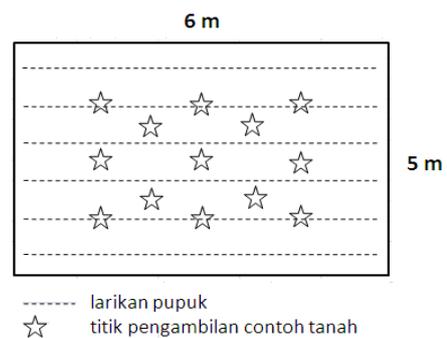
Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Penelitian dan Uji Tanah, Balai Penelitian Tanah Bogor dengan menggunakan contoh tanah yang diambil dari bekas percobaan pemupukan P-alam di lapang, yaitu pada tanah Latosol Coklat Kemerahan yang berasal dari bahan induk tuff vulkan (Lembaga Penelitian Tanah, 1966) atau setara dengan Dystrudept (Soil Survey Staff, 1998) di Cibatok, Kecamatan Cibungbulang, Kabupaten Bogor. Percobaan lapang dilaksanakan di lahan milik petani pada musim kering (MK) 2008 dengan menggunakan jagung varietas P-12 sebagai tanaman indikator, pengambilan contoh tanah dilakukan setelah panen, dan analisis contoh tanah pada TA 2009. Hasil analisis pendahuluan contoh tanah lapisan atas (0-20 cm) yang diambil dari lokasi percobaan disajikan pada Tabel 1.

Pengambilan contoh tanah di lapang

Percobaan lapang menggunakan rancangan faktor tunggal (P) dalam Rancangan Acak Kelompok (*randomize completely block design*) dan ulangan tiga kali. Perlakuan terdiri atas enam tingkat takaran P, yaitu: 0, 20, 30, 40, 50, dan 60 kg P ha⁻¹ atau setara dengan 0, 307, 460, 614, 767, dan 920 kg P-alam ha⁻¹. Pupuk P-alam yang digunakan dalam percobaan tersebut mengandung P terekstrak asam sitrat 2% dan P total masing-masing 8,66 dan

16,56% P₂O₅ sehingga P-alam tersebut memenuhi syarat SNI-02-3776-2005 sebagai pupuk P-alam bermutu C (Nursyamsi, 2010).

Contoh tanah diambil dari setiap petak percobaan secara komposit sehingga semuanya terdapat 18 contoh tanah. Setiap contoh tanah komposit berasal dari 13 sub contoh yang diambil dari petak percobaan yang berukuran 6 X 5 m pada kedalaman 0-20 cm dengan menggunakan bor Belgi (Gambar 1). Sub contoh tanah dicampur hingga homogen, lalu diambil sekitar 1 kg untuk analisis P di laboratorium. Contoh tanah dari lapang dikering-udarkan, ditumbuk, diayak dengan menggunakan saringan 2 mm lalu dimasukkan ke dalam kantong plastik berlabel.



Gambar 1. Sebaran titik-titik pengambilan sub contoh tanah pada setiap petak percobaan

Figure 1. Distribution of sampling points for soil subsamples at each experiment plot

Penetapan jerapan P tanah

Penetapan jerapan P dilakukan dengan pendekatan model Langmuir (Fox and Kamprath, 1970; Syers *et al.*, 1973). Contoh tanah masing-masing perlakuan ditimbang 2 g dan dimasukkan kedalam botol kocok, lalu ditambahkan 20 ml larutan CaCl₂ 0,001 M yang mengandung 10 tingkat konsentrasi P. Konsentrasi P yang digunakan adalah: 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 75, dan 100 ppm P dari KH₂PO₄. Ekstraksi tanah diinkubasi selama enam hari dan dikocok dua kali sehari, masing-masing selama 30 menit pagi dan sore hari. Setelah inkubasi

Tabel 1. Hasil analisis pendahuluan contoh tanah lapisan atas (0-20 cm) dari lokasi percobaan lapang

Table 1. Initial soil analysis result of topsoil sample (0-20 cm) taken from experiment site

Analisis	Unit	Metode/pengekstrak	Ul. I	Ul. II	Ul.III
Tekstur :		Pipet			
Pasir	%		10	9	13
Debu	%		26	27	25
Liat	%		64	64	62
pH		pH meter			
H ₂ O (1:5)			5,2	5,3	5,2
KCl (1:5)			4,3	4,5	4,4
Bahan organik :					
C	%		1,19	1,19	1,07
N	%		0,16	0,15	0,16
C/N			8	8	7
P-potensial	mg P ₂ O ₅ /kg	HCl 25%	770	749	637
K-potensial	mg K ₂ O/kg	HCl 25%	53	58	60
P-tersedia	mg P ₂ O ₅ /kg	Bray I	4,95	6,04	3,58
Kation dapat dipertukarkan :		NH ₄ OAc 1 N pH 7			
Ca	Cmol(+)/kg		5,66	6,24	6,26
Mg	Cmol(+)/kg		2,39	2,29	2,36
K	Cmol(+)/kg		0,09	0,10	0,10
Na	Cmol(+)/kg		0,24	0,33	0,13
KTK	Cmol(+)/kg	NH ₄ OAc 1 N pH 7	19,54	18,76	20,28
KB	%		43	48	44
Kemasaman :		KCl 1 N			
Al _{dd}	Cmol(+)/kg		0,12	0,08	0,12
H _{dd}	Cmol(+)/kg		0,06	0,03	0,06

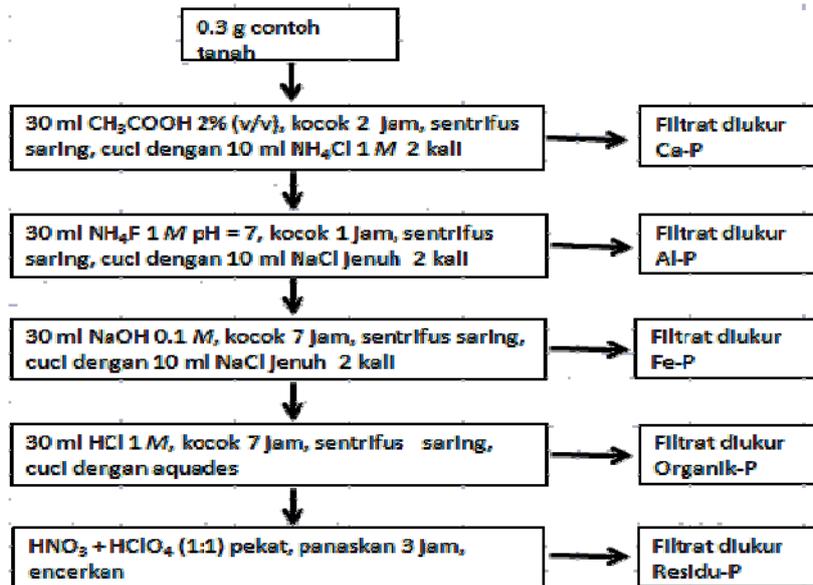
larutan disaring dan ekstrak jernih digunakan untuk pengukuran P. Selanjutnya konsentrasi P dalam ekstraktan ditetapkan dengan persedur *molybdate-ascorbic* menggunakan *spectrophotometer*.

Jerapan P dihitung dengan model Langmuir menurut Fox dan Kamprath (1970) yang menggunakan persamaan sebagai berikut: $x/m = kbC/(1 + kC)$. Dimana: x/m = jumlah P yang dijerap per satuan bobot tanah; k = konstanta yang berkaitan dengan energi ikatan; b = daya jerap P maksimum; dan C = konsentrasi C dalam keseimbangan. Persamaan tersebut diubah menjadi : $C/x/m = 1/kb + 1/b C$. Pengeplotan antara $C/x/m$ dengan C akan menghasilkan garis lurus dengan persamaan regresi

$Y = p + qX$. Nilai q persamaan regresi tersebut sama dengan $1/b$ persamaan di atas, sehingga nilai b dapat ditentukan. Setelah nilai b diketahui maka nilai k dapat dihitung. Nilai b merupakan jerapan maksimum dan k merupakan nilai konstanta energi ikatan suatu tanah.

Penetapan fraksionasi P tanah

FraksiP tanah (P cepat, sedang, dan lambat tersedia) ditetapkan dengan menggunakan metode Sekiya (1983) yang dimodifikasi. Bentuk P cepat tersedia meliputi bentuk Ca-P, Al-P, dan Fe-P; P sedang tersedia meliputi bentuk organik-P; dan P



Gambar 2. Prosedur fraksionasi P tanah

Figure 2. Procedure for soil P fractionation

lambat tersedia meliputi bentuk residu-P. Bentuk Ca-P diduga dengan menggunakan ekstrak CH_3COOH 2% (v/v), Al-P dengan NH_4F 1 M pH=7, Fe-P dengan NaOH 0,1 N, organik-P dengan HCl 1 M, dan residu-P dengan pengekstrak $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$ pekat. Contoh tanah diekstraksi secara berurutan seperti yang disajikan pada Gambar 2. Selanjutnya konsentrasi P dalam filtrat ditetapkan dengan prosedur *molybdate-ascorbic* dan menggunakan *spectrophotometer*. Sebagai tambahan, analisis P tanah juga dilakukan dengan metode yang biasa dilakukan di laboratorium tanah, yaitu menggunakan pengekstrak Bray I dan HCl 25%.

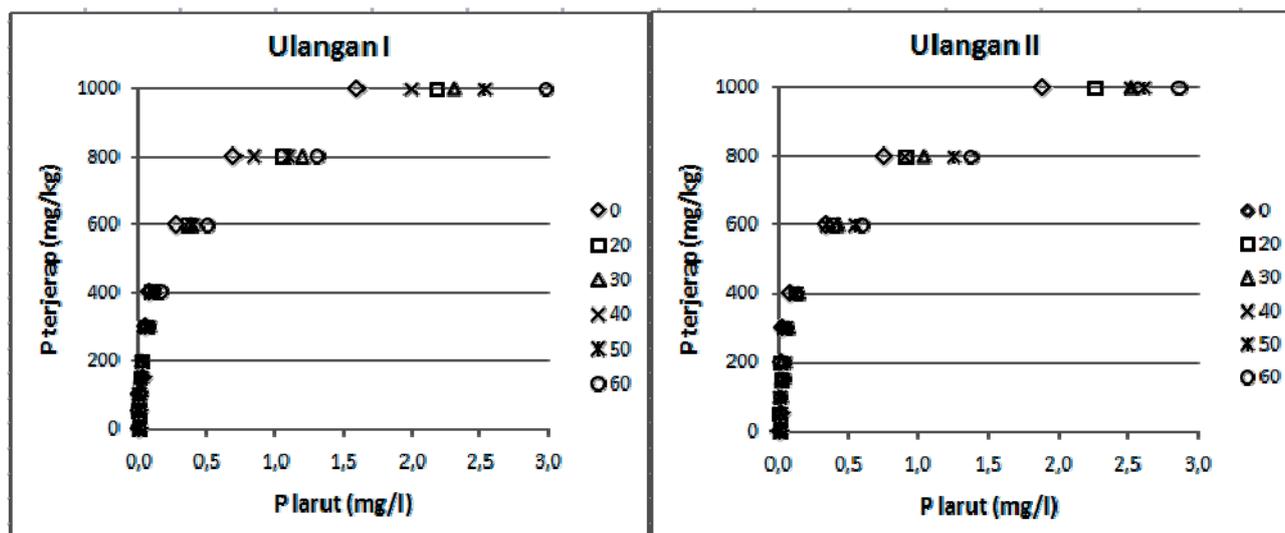
Batas kritis P tanah untuk pertumbuhan jagung pada tanah yang diteliti ditetapkan dengan metode Cate dan Nelson (1971), yaitu dengan memplotkan data kadar P tanah sebagai absis (sumbu X) dan persen hasil tanaman sebagai ordinat (sumbu Y). Persen hasil tanaman menggunakan data hasil percobaan lapang yang telah dilaporkan oleh Nursyamsi (2010). Persen hasil tanaman didefinisikan sebagai $(P_0/P_x) \times 100\%$, dimana P_0 adalah hasil tanaman pada perlakuan tanpa pemberian P dan P_x

adalah hasil tanaman dengan pemberian P. Selanjutnya salib sumbu digeser-geser pada persen hasil tanaman 85% sedemikian rupa sehingga jumlah titik-titik di kuadran I dan III maksimal, sedangkan di kuadran II dan IV minimal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh P-alam terhadap jerapan P tanah

Kurva jerapan P tanah dapat digunakan untuk menduga kemampuan tanah dalam menyediakan hara P bagi tanaman. Berdasarkan kurva jerapan, faktor-faktor yang berpengaruh terhadap ketersediaan P tanah meliputi: faktor intensitas (I), kuantitas (Q), dan daya sangga. Daya sangga (DS) adalah perubahan faktor kuantitas (P terjerap) persatuan perubahan dalam intensitas (P larut) yang biasa dinyatakan dengan rumus: $DS = \partial Q / \partial I$ (Widjaja-Adhi dan Sudjadi, 1987). Pemberian P-alam sampai dengan takaran 60 kg P ha^{-1} menggeser kurva jerapan P tanah ke kanan (Gambar 3). Hal ini menunjukkan bahwa P-alam meningkatkan jumlah P



Gambar 3. Pengaruh pemberian P-alam terhadap jerapan P tanah Inceptisol berbahan vulkan

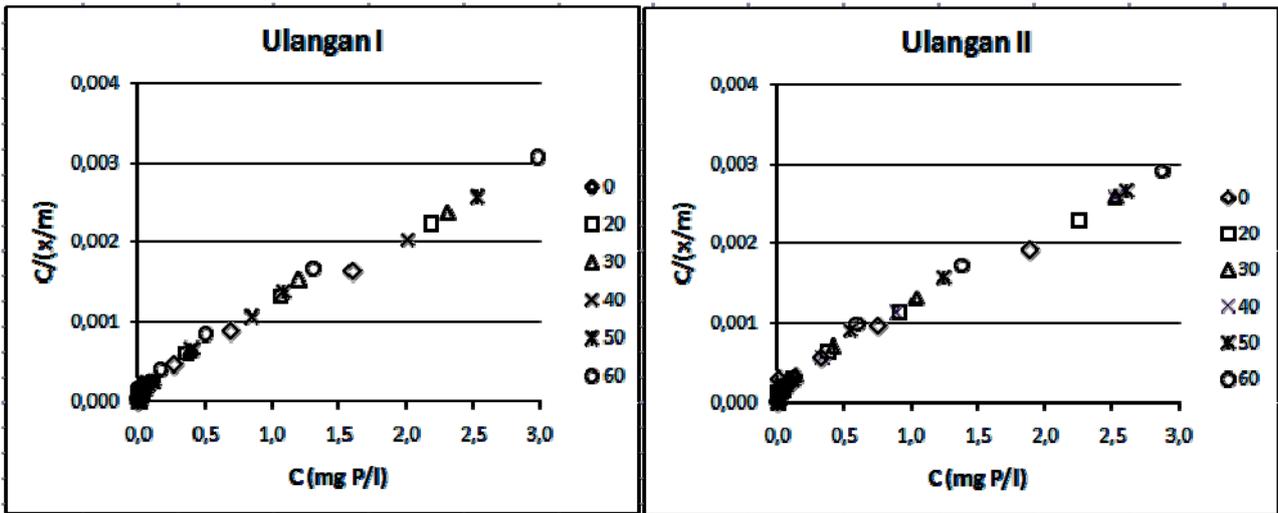
Figure 3. Effect of application of rock phosphate on soil P adsorption at volcanic Dystrudepts

larut yang dapat langsung diserap oleh tanaman (cepat tersedia). Reaksi tanah di lokasi percobaan bersifat masam atau pH = 5,2 (Tabel 1) sehingga P-alam akan lebih mudah larut dibandingkan pada tanah netral dan alkalin.

P-alam merupakan batuan yang banyak mengandung mineral apatit dengan rumus umum $Ca_{10}(PO_4)_6(X)_2$, dimana X adalah F^- , OH^- , atau Cl^- atau disebut sebagai apatit (Havlin *et al.*, 1999). P-alam yang digunakan dalam penelitian ini mengandung P terekstrak asam sitrat 2% dan HCl 25% masing-masing 8,66 dan 16,56% P_2O_5 (Nursyamsi, 2010). P-alam yang ditanamkan ke dalam tanah akan bereaksi menghasilkan ion Ca^{2+} , HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$, F^- , dan OH^- . Ion HPO_4^{2-} dan $H_2PO_4^-$ segera masuk ke dalam keseimbangan P terjerap dan P larut sehingga kadar kedua bentuk P tersebut meningkat. Selain meningkatkan kelarutan P, pemberian P-alam juga meningkatkan pH dan menurunkan Al_{da} tanah (Nursyamsi, 2010).

Pemberian P-alam tidak berpengaruh terhadap kurva hubungan antara rasio P larut dengan P terjerap $[C/(x/m)]$ dengan P larut(C) pada tanah Dystrudept berbahan vulkan yang ditunjukkan oleh

kurva masing-masing perlakuan hampir berhimpitan (Gambar 4). Nilai konstanta kurva tersebut (p) relatif tidak berubah akibat pemberian P-alam, yaitu berkisar antara $1,126 \times 10^{-4}$ pada perlakuan kontrol hingga $1,504 \times 10^{-4}$ pada perlakuan P-alam 60 kg P ha⁻¹. Demikian pula pemberian P-alam ini relatif tidak berpengaruh terhadap daya sangga tanah yang ditunjukkan oleh nilai koefisien arah kurva (q). Nilai q kurva tersebut berkisar antara $9,896 \times 10^{-4}$ pada perlakuan kontrol hingga $10,214 \times 10^{-4}$ pada perlakuan P-alam 30 kg P ha⁻¹. Akibatnya pemberian P-alam juga relatif tidak berpengaruh terhadap variabel jerapan baik terhadap jerapan maksimum maupun konstanta energi ikatan. Jerapan maksimum tanah yang diteliti terhadap P berkisar antara 983 mg kg⁻¹ pada perlakuan P alam 60 kg P ha⁻¹ hingga 1.011 mg kg⁻¹ pada perlakuan kontrol, sedangkan konstanta energi ikatan berkisar antara 6,818 pada perlakuan P-alam 60 kg P ha⁻¹ hingga 9,199 pada perlakuan P-alam 30 kg P ha⁻¹ (Tabel 2). Pemberian P-alam dapat meningkatkan P larut (Gambar 3), namun demikian karena ada reaksi keseimbangan antara P larut dan P terjerap, maka pada saat yang sama P terjerap juga meningkat sehingga daya sangga tanah terhadap P relatif tidak berubah.



Gambar 4. Pengaruh pemberian P-alam terhadap kurva hubungan antara C dengan C/(x/m) pada Dystrudept berbahan vulkan

Figure 4. Effect of application of rock phosphate on relationship between C and C/(x/m) curve at volcanic Dystrudepts

Tabel 2. Pengaruh pemberian P-alam terhadap variabel jerapan P tanah Dystrudept berbahan vulkan

Table 2. Effect of application of rock phosphate on soil P adsorption variables at volcanic Dystrudepts

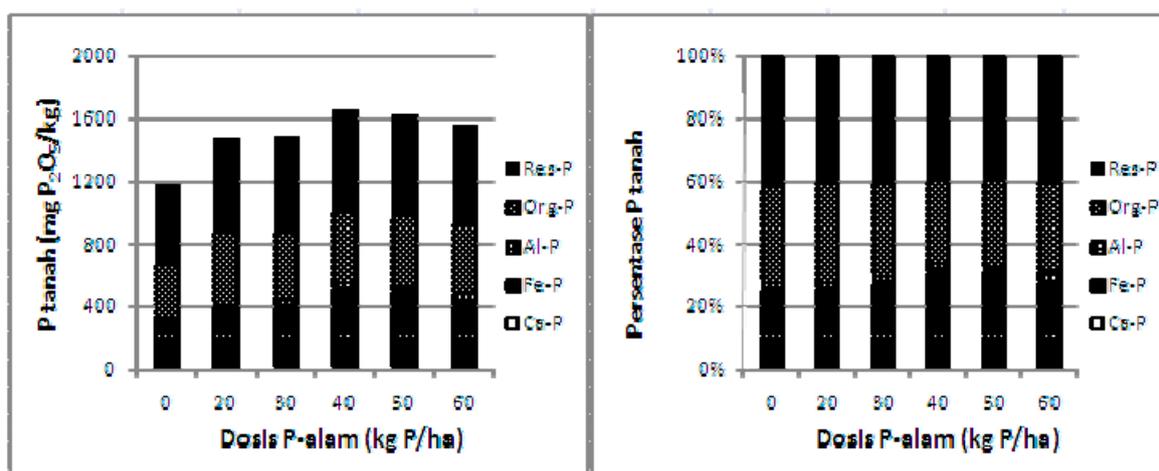
Dosis P-alam kg P/ha	Persamaan kurva			Variabel jerapan	
	p	q	R ²	b	k
x 10 ⁻⁴				
0	1,126	9,896	0,978	1011	9,026
20	1,222	10,048	0,986	995	8,226
30	1,136	10,214	0,985	979	9,199
40	1,132	10,015	0,986	999	9,015
50	1,278	10,151	0,493	985	7,954
60	1,504	10,176	0,983	983	6,818

$Y = p + qX$ setara dengan $C/(x/m) = 1/kb + C/b$; dimana p = konstanta, q = koefisien arah, R² = koefisien determinan, C = P larut (mg/l), x/m = P terjerap (mg/kg), b = jerapan P maksimum (mg/kg), dan k = konstanta energi ikatan P.

Pengaruh P-alam terhadap bentuk-bentuk P tanah

Bentuk-bentuk P tanah Dystrudept berbahan vulkan dari tinggi ke rendah adalah residu-P > organic-P > Fe-P > Al-P > Ca-P, masing-masing sebesar 497 (42%), 358 (30%), 294 (25%), 24 (2%), dan 5 (0,4%) mg P₂O₅ kg⁻¹ (Gambar 5). Bentuk P larut tidak terukur karena kadarnya sangat

rendah sehingga diabaikan. Sedangkan bentuk residu-P adalah bentuk P selain bentuk P larut, Ca-P, Al-P, Fe-P, dan organik-P atau P yang tidak terekstrak oleh pengekstrak bentuk P sebelumnya (Gambar 2). Bentuk residu P hanya bisa terekstrak dengan menggunakan pengekstrak asam kuat dan pekat, yaitu HNO₃ dan HClO₄.



Gambar 5. Pengaruh pemberian P-alam terhadap bentuk-bentuk P tanah Dystrudept berbahan vulkan

Figure 5. Effect of application of rock phosphate on soil P forms at volcanic Dystrudepts

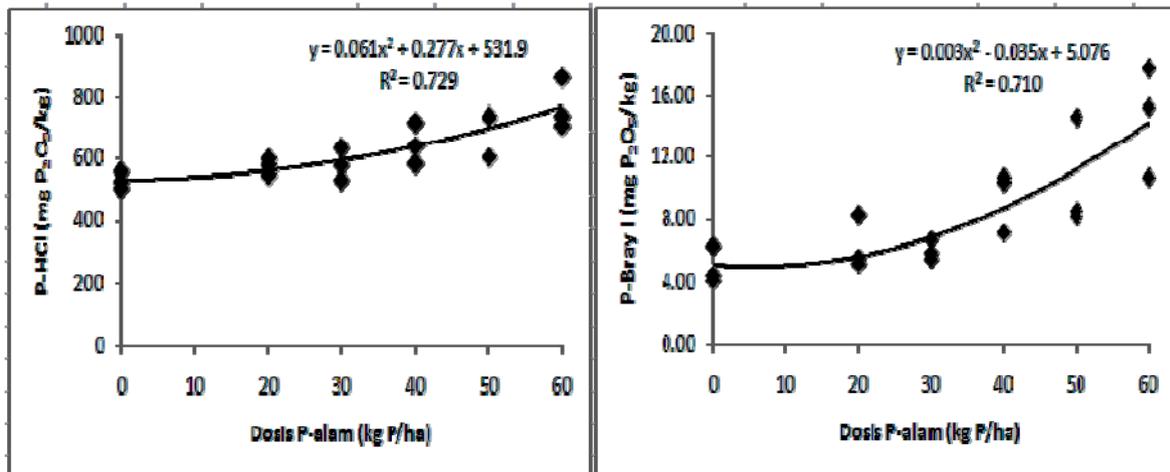
Berdasarkan tingkat kecepatan ketersediannya untuk tanaman, bentuk P tanah dapat dibagi menjadi: sangat cepat tersedia, yaitu bentuk P larut; cepat tersedia yang meliputi bentuk inorganik-P (Fe, Al, dan Ca-P); dan lambat tersedia yang meliputi bentuk organik-P dan residu-P. Dengan demikian maka sebagian besar P di tanah yang diteliti termasuk bentuk lambat tersedia (72%), sedangkan sisanya (28%) termasuk cepat dan sangat cepat tersedia. Di alam, ketiga bentuk P tanah berada dalam reaksi keseimbangan satu sama lain. Penelitian Nursyamsi dan Setyorini (2009) yang dilaksanakan pada tanah netral dan alkalin berbahan induk endapan liat berkapur dan kapur juga menunjukkan hasil yang mirip, yaitu sebagian besar bentuk P tanah termasuk lambat tersedia (71-82%). Namun demikian bentuk P lambat tersedia merupakan bentuk P cadangan yang sangat penting dalam mensuplai P sedang dan cepat tersedia.

Pemberian P-alam di tanah Dystrudept berbahan vulkan dapat meningkatkan semua bentuk P tanah yang dianalisis. Pemberian P-alam hingga 60 kg P ha⁻¹ meningkatkan Ca-P dari 5 menjadi 9 mg P₂O₅ kg⁻¹, Al-P dari 24 menjadi 46 mg P₂O₅ kg⁻¹, Fe-P dari 294 menjadi 507 mg P₂O₅ kg⁻¹, Organik-P dari 356 menjadi 471 mg P₂O₅ kg⁻¹, dan residu-P dari

497 menjadi 651 mg P₂O₅ kg⁻¹ sehingga total-P juga meningkat dari 1.179 menjadi 1.646 mg P₂O₅ kg⁻¹. Selanjutnya pemberian P-alam hanya meningkatkan persentase bentuk Ca-P dan Fe-P tanah, sedangkan persentase bentuk P lainnya sedikit menurun (Gambar 5). Demikian pula pemberian P-alam nyata meningkatkan P terekstrak HCl 25% dan Bray I tanah (Gambar 6).

P-alam yang dibenamkan ke dalam tanah akan mengalami disosiasi membebaskan ion H₂PO₄⁻ dan HPO₄²⁻ (Havlin *et al.*, 1999). Ion fosfat tersebut segera memasuki sistem keseimbangan P larut dan P terjerap sehingga konsentrasi kedua bentuk P tersebut meningkat. Di tanah yang diteliti ternyata agen penjerap P yang terdeteksi adalah Ca²⁺, Al³⁺, Fe³⁺, dan koloid organik. Selain itu agen penjerap P lainnya kemungkinan besar adalah koloid liat atau mineral primer dan sekunder yang ditunjukkan oleh kadar bentuk residu-P tanah yang sangat tinggi. Semua agen penjerap tersebut berperan penting dalam mengendalikan ketersediaan P tanah.

Kation Ca²⁺, Al³⁺, dan Fe³⁺ berperan dalam menjerap P menjadi bentuk Ca-P, Al-P, dan Fe-P. Mekanisme jerapan P oleh ketiga kation tersebut dapat melalui jembatan kation (kation dapat dipertukarkan bereaksi dengan H₂PO₄) atau bisa



Gambar 6. Pengaruh pemberian P-alam terhadap P-HCl dan P-Bray I tanah Dystrudept berbahan vulkan

Figure 6. Effect of application of rock phosphate on soil HCl-P and Bray I-P at volcanic Dystrudepts

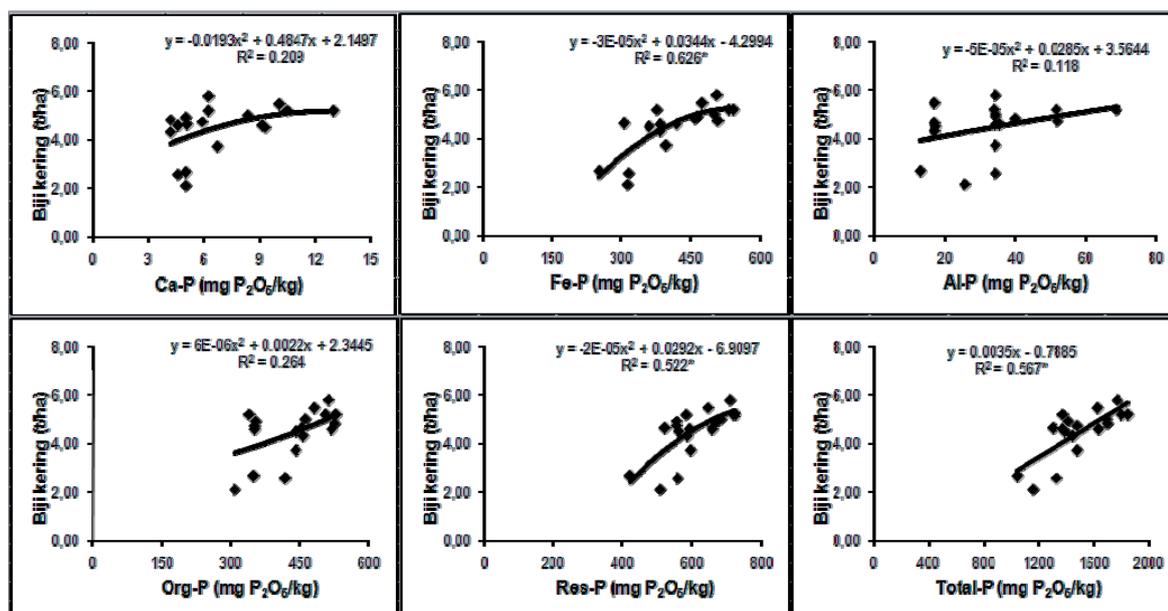
pula kation bebas bereaksi dengan H_2PO_4^- membentuk senyawa garam fosfat yang mengendap (Tan, 1998). Diantara ketiga kation tersebut, kation Fe^{3+} paling penting dalam menjerap P di tanah yang diteliti karena kadarnya di dalam tanah tertinggi. Pada tanah masam umumnya kation Al^{3+} dan Fe^{3+} sebagai agen penjerap (Sarah *et al.*, 2006), sedangkan pada tanah alkalin, sebagai agen penjerap adalah Ca^{2+} (Zhou and Li, 2001) dan Mg (Tan, 1998).

Koloid liat yang bermuatan positif dapat menjerap P yang berbentuk H_2PO_4^- baik secara langsung maupun melalui *water interface* (Tan, 1998). Selain itu koloid liat yang bermuatan negatif juga dapat menjerap P melalui mekanisme jembatan kation (*cation bridging*). Kation Ca^{2+} dan Mg^{2+} (pada tanah netral dan alkalin) serta Al^{3+} dan Fe^{3+} (pada tanah masam) dapat berperan sebagai jembatan kation. Sementara itu mekanisme jerapan P oleh koloid organik mirip dengan jerapan P oleh koloid inorganik, yaitu koloid yang bermuatan positif menjerap P langsung, sedangkan koloid yang bermuatan negatif melalui mekanisme jembatan kation (Tan, 1998).

Hubungan antara bentuk-bentuk P tanah dengan hasil tanaman

Hubungan antara bentuk-bentuk P tanah dengan hasil tanaman (berat biji jagung kering) disajikan pada Gambar 7. Data hasil tanaman berasal dari hasil percobaan pemupukan P-alam di lapang pada Dystrudept berbahan vulkan di Cibatok, Bogor yang dilaksanakan pada MK 2008. Hasil percobaan tersebut menunjukkan bahwa pemberian P-alam nyata meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman serta pendapatan petani (Nursyamsi, 2010).

Bentuk Fe-P, residu-P, dan total-P tanah berkorelasi positif nyata ($p > 0,95$) dengan berat biji jagung kering pada tanah Dystrudept berbahan vulkan, sedangkan bentuk P lainnya (Ca-P, Al-P, dan organik-P tanah) tidak nyata (Gambar 7). Hal ini erat kaitannya dengan kedua bentuk P tersebut (Fe-P dan residu-P tanah) merupakan bentuk P paling dominan di tanah yang diteliti. Demikian pula anion fosfat yang berasal dari penggunaan P-alam sebagian besar bereaksi menjadi bentuk Fe-P dan residu-P yang merupakan sumber P cadangan bagi tanaman



Gambar 7. Hubungan antara bentuk-bentuk P tanah dengan berat biji jagung pipilan kering pada percobaan P-alam di tanah Dystrudept berbahan vulkan

Figure 7. Relationship between soil P forms with dry maize grain weight of rock phosphate experiment at volcanic Dystrudepts

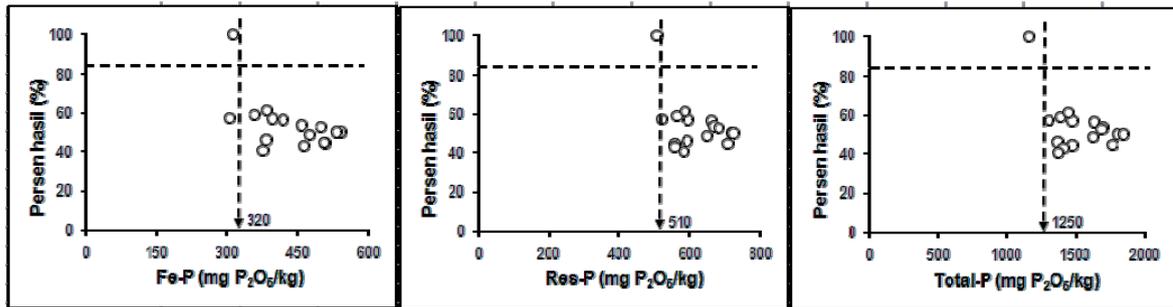
(Gambar 5). Selain itu telah dikemukakan sebelumnya bahwa kation Fe³⁺ dan koloid liat merupakan agen penjerap P paling utama di tanah yang diteliti sehingga kedua bentuk P tersebut mengendalikan ketersediaan P dan pertumbuhan tanaman.

Batas kritis P tanah

Batas kritis bentuk P tanah yang ditetapkan adalah bentuk P yang memiliki korelasi nyata ($p > 0,95$) dengan respon tanaman yaitu bentuk Fe-P, residu-P, dan total-P. Dengan menggunakan metode Cate dan Nelson (1971) maka batas kritis P tanah untuk jagung di tanah Dystrudept berbahan vulkan adalah 320, 510, dan 1.250 mg P₂O₅ kg⁻¹ berturut-turut untuk bentuk Fe-P, residu-P, dan total-P (Gambar 8). Kadar bentuk Fe-P, residu-P, dan total-P di tanah yang diteliti masing-masing adalah 294, 497, dan 1.179 mg P₂O₅ kg⁻¹ (Gambar 5). Hal ini menunjukkan bahwa tanah yang diteliti mengandung P lebih rendah daripada batas kritisnya, sehingga

perlu dipupuk P untuk mendapatkan produksi jagung yang maksimal. Apabila P tanah lebih tinggi daripada batas kritis maka tanah perlu dipupuk dengan dosis perawatan (*maintenance*), yaitu sejumlah P yang diangkat oleh panen (*crop removal*).

Besarnya batas kritis tanah tergantung metode ekstraksi yang digunakan dimana semakin kuat metode tersebut mengekstrak P tanah maka semakin tinggi pula nilai batas kritisnya (Nursyamsi dan Widayati, 2005). Selain itu, sistem tanah-tanaman juga berpengaruh terhadap besarnya batas kritis tersebut. Batas kritis P tanah untuk kedelai yang ditanam di Kandiudox Tipik adalah < 8, 8-20, dan > 20 ppm P₂O₅ (Bray I), serta < 12, 12-36, dan > 36 ppm P₂O₅ (Bray II) berturut-turut untuk kelas rendah, sedang, dan tinggi (Nursyamsi *et al.*, 2004). Sementara itu pada tanah Vertisol, batas kritis P tanah untuk kedelai adalah 450, 90, 60, dan 38 ppm P₂O₅ berturut-turut untuk pengekstrak HCl 25%, Colwell, Truogh, dan Olsen (Nursyamsi dan Fajri, 2004).



Gambar 8. Batas kritis bentuk Fe-P, residu-P, dan total-P untuk jagung pada Dystrudept berbahan vulkan

Figure 8. Critical level of soil Fe-P, residual-P, and total-P for maize at volcanic Dystrudepts

KESIMPULAN

1. Pemberian P-alam meningkatkan P larut dalam tanah sehingga ketersediaannya untuk tanaman meningkat pula. Selain itu, pemberian P-alam juga meningkatkan semua bentuk P tanah serta nyata meningkatkan P-HCl dan P-Bray I tanah.
2. Bentuk-bentuk P di tanah yang diteliti dari tinggi ke rendah adalah residu-P > organic-P > Fe-P > Al-P > Ca-P dimana bentuk residu-P, Fe-P, dan total-P tanah memegang peranan penting dalam mengendalikan ketersediaan P tanah.
3. Batas kritis Fe-P, residu-P, dan total-P tanah untuk jagung varietas P-12 di tanah yang diteliti berturut-turut adalah 320, 510, dan 1250 mg P_2O_5 kg^{-1} .

DAFTAR PUSTAKA

- Brady, N.C. 1984.** The Nature and Properties of Soils. Ninth Edition. Macmillan Publishing Company, New York.
- Cate, R.B. Jr. and L.A. Nelson. 1971.** A simple statistical procedure for partitioning soil-list correlation into two classes. SSSAP 35:858-860.
- Dobermann, A., T. George, and N. Thevs. 2002.** Phosphorous fertilizer effects on soil phosphorous pools in acid upland soils. SSSAJ 66: 652-660.

- Frischke, B.M., R.E. Holloway, M.J. McLaughlin, and E. Lombi. 2004.** Phosphorous management and availability in highly calcareous soils. Proceedings of the 4th International Crops Science Congress Brisbane, Australia, 26 Sep.-1 Oct 2004. P 4.

- Hartatik, W. dan J.S. Adiningsih, 1989.** Pembedingan efektivitas dan residu sumber pupuk P pada Podsolik Merah Kuning, Terbanggi, Lampung. Hlm 185-194. Dalam Risalah Hasil Penelitian Tanah. Pusat Penelitian Tanah, Bogor,.

- 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.

- Johnson, S.E. and R.H. Loeppert. 2006.** Role of organic acids in phosphate mobilization from iron oxide. Soil Sci. Soc. Am. J. 70: 222-234.

- Lembaga Penelitian Tanah. 1966.** Peta Tanah Tinjau Propinsi Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur, Skala 1:250.000. Lembaga Penelitian Tanah, Bogor.

- Marschner, H. 1997.** Mineral Nutrition of Higher Plants. Second Edition. Academic Press, Harcourt Brace & Company, Publisher. Tokyo.

- Nursyamsi, D., M.T. Sutriadi, dan U. Kurnia. 2004.** Metode ekstraksi dan kebutuhan pupuk P tanaman kedelai (*Glycine max* L.) pada tanah masam Typic Kandiodox di Papanrejo, Lampung. Jurnal Tanah dan Iklim 22:15-25.

- Nursyamsi, D. dan Nurul Fajri. 2004.** Metode ekstraksi dan batas kritis hara fosfor tanah Vertisol untuk kedelai (*Glycine max* L.). *Agric, Jurnal Ilmu Pertanian* 17:98-110.
- Nursyamsi, D. dan R.D. Widayati. 2005.** Batas kritis hara fosfor dalam tanah Inceptisol dan Ultisol untuk kedelai (*Glycine max* L.). *Jurnal Tanah dan Air* 6:26-41.
- Nursyamsi, D. dan D. Setyorini. 2009.** Ketersediaan P tanah-tanah netral dan alkalin. *Jurnal Tanah dan Iklim* 30:25-36.
- Nursyamsi, D. 2010.** Pengaruh pemberian batuan fosfat terhadap ketersediaan P tanah dan hasil jagung (*Zea mays* L.) pada tanah Inceptisol Cibatok, Bogor. *Agrivita Jurnal Ilmu Pertanian* 31:103-112.
- Rajan, S.S.S., J.H. Watkinson, and A.G. Sinclair. 1996.** Phosphate rocks for direct application to soils. *Advances in Agronomy* 57:77-159.
- Saleque, M.A., U.A. Naher, A. Islam, A.B.M.B.U. Pathan, A.T.M.S. Hossain, and C.A. Meisner. 2004.** Inorganic and organic phosphorous fertilizer effects on the phosphorous fractionation in wetland rice soils. *SSSAJ* 68:1635-1644.
- Sarah, E., Johnson, and R.H. Loeppert. 2006.** Role of organic acids in phosphate mobilization from iron oxide. *SSSAJ* 70:222-234.
- Sedyarso, M. 1999.** Fosfat Alam Sebagai Bahan Baku dan Pupuk Fosfat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Sekiya, K. 1983.** Phosphorus. *In Methods of Soil Analysis*, Ed. D.Y. Bunsenhou, Pp. 225-257. Ministry of Agriculture, Forestry, and Fisheries, Youkendou, Tokyo (in Javanese).
- Syers, I.K., M.G. Brownman, G.W. Smillie, and R.G. Corey. 1973.** Phosphate sorption by soils evaluated by the Langmuir Adsorption Equation. *SSSA Proc.* 37:358-363.
- Soil Survey Staff. 1998.** Kunci Taksonomi Tanah. Edisi kedua Bahasa Indonesia. 1999. Puslittanak, Badan Litbang Pertanian. Pp 75-84.
- Tan, K.H. 1998.** Principles of Soil Chemistry. Third Edition Revised and Expanded. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Than, A.A. and K. Egashira. 2008.** Evaluation of phosphorous status of some upland soils in Myanmar. *J. Fac. Agr., Kyushu Univ.* 53(1): 193-200.
- Widjaja-Adhi, I P.G. dan I M. Widjik. 1984.** Pemilihan dan kalibrasi uji tanah hara P untuk tanaman kentang pada tanah Hydric Dystrandeps. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk* 3:42-46.
- Widjaja-Adhi, I P.G. 1986.** Penentuan kelas ketersediaan hara dengan metode analisa keragaman yang dimodifikasi. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk* 5:23-28.
- Widjaja-Adhi, I P.G. and J.A. Silva. 1986.** Calibration of Soil Phosphorous test for maize on Typic Paleudults and Trapeptic Eustrustox. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk.* 6: 32-39.
- Widjaja-Adhi, I P.G. dan M. Sudjadi. 1987.** Status dan kelakuan fosfat tanah-tanah di Indonesia. Hlm 223-242. *Dalam* Prosiding Lokakarya Nasional Penggunaan Pupuk Fosfat. Cipanas, 29 Juni-2 Juli 1987. Pusat Penelitian Tanah, Bogor.
- Zhou, M. and Y. Li. 2001.** Phosphorus-sorption characteristics of calcareous soils and limestone from the southern everglades and adjacent farmlands. *SSSAJ* 65: 1404-1412.