

Kelaurutan Pupuk Fosfat Alam dan Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan dan Hasil Jagung pada Tanah Ultisols

Antonius Kasno, Diah Setyorini, Sutisni Dwiningsih¹

Makalah diterima 30 Agustus 2006 / Disetujui 27 Februari 2007

ABSTRACT

Solubility of Rock Phosphate and its Effect to the Growth and Yield of Maize on Ultisols (A. Kasno, D. Setyorini, and S. Dwiningsih): Phosphor is a macro nutrients and it becomes the main limiting factor for maize growth on Ultisols. Rock phosphate is one of P fertilizer sources contains high P and Cu content, slow release and soluble under acid condition, suitable for acid soil. The objective of this research is to study the solubility of rock phosphate and its influence to the growth and yield of maize on Ultisols. This research was conducted in the research laboratory and the green house of Indonesia Soil Research Institute (ISRI). Ultisols soil samples were taken from oil palm plantation in North Sumatera. Christmas Island Rock Phosphate (CIRP) and Tunisia rock phosphate was used in this research. There are two activity conducted simultaneously, which is application of rock phosphate on Ultisols under plant indicator and without plant. The experimental design is randomized complete block design with 5 treatments and 3 replications. The pot experiment without plant was conducted using 1 kg of soil sample mixed with rock phosphate treatment and placed into plastic plot. During 3 months of incubation, soil water content was maintained under field capacity by aquadest. The dosages of P fertilizer were 0, 157.6 and 315.2 kg P₂O₅ ha⁻¹. Soil samples were taken on 1, 2, and 3 months after P fertilization for measuring pH, P content (by HCl 25%, Bray 1 and Olsen extraction), P-inorganic fractionation (Al-P, Fe-P, Rs-P and Ca-P), exchangeable acidity (Al and H), Al and free of Fe oxide. The pot experiments with maize were conducted using 7.5 kg soil samples mixed with 2 different rock phosphates as a treatment. The dosages of rock phosphate were similar with experiment 1. Urea 300 kg and 150 kg KCl ha⁻¹ were applied as a basal fertilizer. Maize was planted two seed per pot and maintain until harvest time. The result of the research shows that soil P content increase with RP application, Tunisia rock phosphate give higher response than the CIRP. Direct application of rock phosphate with Fe and Al content did not increase significantly the Al₂O₃ and Fe₂O₃ content on soil. Application of CIRP and Tunisia rock phosphate increased maize growth and yield significantly.

Keywords: CIRP, maize, P solubility, Tunisia rock phosphate, ultisols,

PENDAHULUAN

Fosfor merupakan hara makro, pada umumnya diserap tanaman dalam bentuk anion ortofosfat H₂PO₄⁻ atau HPO₄²⁻ tergantung pada tingkat kemasaman tanah. Bentuk-bentuk fraksi P dalam tanah dipengaruhi oleh bahan induk pembentuk tanah, tingkat pelapukan, reaksi tanah (pH tanah) dan tingkat pengelolaan. Tanah Ultisols merupakan tanah yang telah mengalami pelapukan lanjut yang dicirikan oleh rendahnya kation basa seperti Ca²⁺, Mg²⁺ dan K⁺ karena telah banyak tercuci dan tersisa kation masam (Al³⁺ dan H⁺). Selain itu kejenuhan basa rendah dan tanah bersifat masam (pH tanah rendah). Menurut Havlin *et al.* (1999), pada pH masam hara P dalam tanah lebih banyak dalam bentuk H₂PO₄⁻. Hara P merupakan pembatas utama

produktivitas tanah pada Ultisols dan Oxisols (Mutert dan Adiningsih, 1996).

Jenis pupuk P yang diberikan berpengaruh terhadap bentuk-bentuk P dalam tanah. Pupuk P-alam merupakan pupuk yang mengandung kadar P dan Ca yang tinggi, kurang larut dalam air, bersifat slow release dan mempunyai pengaruh efek residu jangka panjang. Christmas Island Rock Phosphate (CIRP) merupakan pupuk P-alam berkadar P₂O₅ tinggi (>30%) yang berasal dari campuran fluor hydroxyapatite yang reaktif, kalsium besi fosfat dan kalsium aluminium fosfat yang lebih lambat larut (Boughton dan Agustono, 1997), oleh karena itu mengandung Fe dan Al cukup tinggi. Kelaurutan CIRP berada antara P-alam dari Goizhou dan P-alam Huinan dari Cina dan lebih rendah daripada P-alam Tunisia dan SP-36 (Adiningsih *et al.*, 1997).

¹ Balai Penelitian Tanah, Jl. Ir. H. Djuanda No. 98 Bogor 16123
J. Tanah Trop., Vol. 13, No. 1, 2008: 11-21
ISSN 0852-257X

Hasil penelitian pemupukan P-alam pada tanah Ultisols menunjukkan bahwa pemupukan dengan berbagai jenis P-alam selama satu tahun dapat meningkatkan kadar P tanah terekstrak Bray 1. Kadar P-tanah tertinggi diperoleh pada pemberian pupuk P-alam Tunisia dan SP-36, disusul P-alam Ciamis dan CIRP pada takaran yang sama $320 \text{ P}_2\text{O}_5 \text{ kg ha}^{-1}$ (Kasno et al., 1998). Pemberian CIRP, P-alam Ciamis, Tunisia dan SP-36 meningkatkan kadar fraksi Al-P pada Ultisols Taman Bogo, keempat sumber P tersebut memberi pengaruh yang hampir sama terhadap hasil tanaman (Widowati et al., 2003). Aplikasi berbagai jenis P-alam pada tanah Ultisols Panaragan, Lampung Utara yang diinkubasi selama 3 bulan tidak berpengaruh terhadap kadar fraksi Al-P tanah.

Fosfat alam merupakan bahan galian/tambang yang mengandung fosfat cukup tinggi dengan bahan ikutan hara Ca, Fe, Al dan logam-logam berat yang kadarnya sangat bervariasi dan sangat bergantung pada sumber bahan induk tanahnya. Sifat-sifat ini sangat menentukan reaktivitas pupuk P-alam. Pada tahun 1995, Badan Standardisasi Nasional telah menyusun kriteria persyaratan kualitas P-alam untuk bahan baku pupuk berdasarkan kriteria kandungan total P_2O_5 serta kadar Al_2O_3 dan Fe_2O_3 (R_2O_3). Berdasarkan BSN (1995) pupuk CIRP termasuk P-alam Mutu C karena mengandung R_2O_3 cukup tinggi. Selanjutnya pada tahun 2005, BSN telah menyusun Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk P-alam yang digunakan secara langsung sebagai pupuk untuk tanaman dimana kadar Fe_2O_3 dan Al_2O_3 tidak lagi dimasukkan sebagai persyaratan. Berdasarkan SNI 2005, P-alam CIRP termasuk P-alam Mutu A. Namun demikian, tetap dikhawatirkan bahwa keberadaan Fe dan Al dari pupuk P-alam CIRP apabila diaplikasikan pada dosis tinggi akan meningkatkan kadar Al_{td} tanah sehingga lebih memasamkan tanah dan menurunkan efektivitas P serta mempengaruhi pertumbuhan tanaman.

Berdasarkan uraian tersebut diatas, maka dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mempelajari pengaruh pemberian pupuk P-alam Christmas Island (CIRP) dan P-alam Tunisia secara langsung terhadap kadar Al dan Fe tanah, bentuk-bentuk P dan sifat-sifat tanah serta hasil tanaman.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di laboratorium penelitian dan rumah kaca Balai Penelitian Tanah,

menggunakan contoh tanah Ultisols dari perkebunan kelapa sawit di Sumatera Utara. Pupuk P-alam yang digunakan adalah P-alam Christmas Island Rock Phosphate (CIRP) dari Pulau Christmas dan P-alam Tunisia.

Penelitian Inkubasi P-alam Tanpa Tanaman

Contoh tanah Ultisols dikeringanginkan, dihaluskan dan disaring dengan ayakan berdiameter 2 mm. Contoh tanah ditimbang sebanyak 1 kg berdasarkan bobot kering mutlak, kemudian dimasukkan ke dalam pot plastik, ditambah P-alam CIRP dan Tunisia, serta perlakuan kontrol tanpa pupuk P. Takaran pupuk P yang digunakan adalah 157,6 dan 315,2 $\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ setara 0,5 dan 1 t CIRP ha^{-1} .

Tanah yang telah diberi pupuk P diinkubasi dalam kondisi kapasitas lapang selama 3 bulan dengan disiram dengan air bebas ion. Di antara waktu inkubasi tersebut dilakukan pengambilan contoh tanah (sampling) sebanyak 3 kali yaitu pada 1, 2, dan 3 bulan setelah pemberian pupuk P. Contoh tanah diambil kurang lebih 20 g pot⁻¹ setiap kali sampling. Selanjutnya contoh tanah tersebut dianalisis pH, kadar P terekstrak HCl 25 %, Bray 1 dan Olsen, fraksionasi P anorganik (Al-P, Fe-P, R_s-P dan Ca-P), kemasaman dapat tukar (Al dan H), Al dan Fe oksida bebas.

Analisis fraksionasi P dilakukan berdasarkan perbedaan kelarutan bentuk-bentuk P di dalam beberapa pengekstrak. Aluminium-P dianalisis dengan pengekstrak 1 M NH_4Cl , dan 0,5 M NH_4F , dan Fe-P dengan pengekstrak 0,1 M NaOH. Fosfat residu dianalisis dengan 0,3 M $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$, 1 M NHCO_3 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$, tanah bekas analisis P-residu ditambah 0,25 M H_2SO_4 untuk Ca-P (Zhang dan Kovar, 2000).

Untuk mengetahui pengaruh pemupukan P-alam terhadap sifat kimia tanah dilakukan analisis data dengan sidik ragam (ANOVA), dilanjutkan dengan uji DMRT pada taraf nyata 5%.

Penelitian Pengaruh P-alam terhadap Perubahan Sifat Kimia Tanah dan Hasil Jagung

Penelitian dilaksanakan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan 5 perlakuan dan 3 ulangan. Contoh tanah kering udara yang berdiameter < 2 mm ditimbang sebanyak 7,5 kg berdasar bobot kering mutlak, kemudian dimasukkan ke dalam pot plastik. Perlakuan yang dicoba adalah pupuk CIRP dan P-alam

Tunisia ditambah satu perlakuan kontrol (- P). Takaran pupuk P yang digunakan adalah 157,6 dan 315,2 kg P₂O₅ ha⁻¹ setara dengan 0,5 dan 1 t CIRP ha⁻¹. Selanjutnya tanah yang telah diberi pupuk disiram dengan air bebas ion sampai pada kondisi kapasitas lapang, kemudian diinkubasi selama 1 minggu.

Setelah diinkubasi 1 minggu, ditambahkan pupuk dasar 300 kg urea dan 150 kg KCl ha⁻¹. Jagung ditanam dengan populasi 2 tanaman per pol dan dipelihara sampai panen. Pada saat panen, contoh tanah dan contoh tanaman jagung diambil untuk dianalisis kadar haranya. Contoh tanah dianalisis kadar P terekstrak HCl 25%, Olsen (0,5 M NaHCO₃, pH 8,5, 1:10) (Olsen *et al.*, 1954) dan Bray 1 (0,03 M NH₄F + 0,025 M HCl, 1:10) (Bray and Kurtz, 1945). Kadar hara P total tanaman dianalisis dengan pengabuan basah menggunakan campuran asam pekat HNO₃ dan HClO₄ (Balittanah, 2005).

Data respons tanaman dan perubahan sifat kimia dalam tanah dianalisis secara statistik deskriptif untuk melihat hubungan antar peubah sifat kimia tanah dan respons hasil tanaman. Untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan, data

dianalisis ragam (ANOVA), dilanjutkan dengan uji DMRT pada taraf nyata 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar Hara Pupuk P-alam Christmas dan Tunisia

Kadar hara dalam P-alam CIRP dan P-alam Tunisia disajikan pada Tabel 1. Kandungan hara dalam pupuk P-alam Tunisia adalah 280,1 g kg⁻¹ P₂O₅ dan 303,2 g kg⁻¹ Ca, sedang pada pupuk CIRP 315,2 g kg⁻¹ P₂O₅ dan 265,0 g kg⁻¹ Ca dengan variasi adanya unsur mikro. Kadar logam berat Pb dan Cd pada kedua pupuk P-alam tergolong rendah, di bawah batas ambang yang diperbolehkan. Kadar Cd dan Pb yang diperbolehkan dalam pupuk P-alam adalah maksimal 100 dan 500 mg kg⁻¹ (BSN, 2005). Berdasarkan SNI pupuk P-alam (2005) pupuk CIRP dan P-alam Tunisia termasuk Mutu A. P-alam Tunisia yang digunakan tidak berbeda dengan P-alam (Gafsa/Tunisia) dengan kadar P₂O₅ total 29,2% (FAO, 2004). Berdasarkan kadar kadar P₂O₅ terekstrak asam sitrat 2% pupuk CIRP dan P-alam Tunisia termasuk pupuk yang reaktivitasnya tinggi.

Tabel 1. Hasil analisis pupuk P-alam CIRP dan Tunisia.

Kandungan Hara	Satuan	P-alam Tunisia	P-alam Christmas
P ₂ O ₅ dengan ekstraksi:			
Air	g kg ⁻¹	1,1	1,4
Asam sitrat 2%	g kg ⁻¹	169,4	110,5
HNO ₃ + HClO ₄	g kg ⁻¹	280,1	315,2
K	g kg ⁻¹	0,8	0,5
Na	g kg ⁻¹	8,8	1,5
Ca	g kg ⁻¹	303,2	265,0
Mg	g kg ⁻¹	3,6	6,8
Fe	mg kg ⁻¹	2.652	15.606
Mn	mg kg ⁻¹	18	264
Cu	mg kg ⁻¹	11	65
Zn	mg kg ⁻¹	312	390
Al	mg kg ⁻¹	3.270	31.670
Pb	mg kg ⁻¹	5	9
Cd	mg kg ⁻¹	47	19
Kadar air	%	1,02	2,11
R ₂ O ₃	g kg ⁻¹	9,9	82,1

Keterangan: R₂O₃ dalam Standar Nasional Indonesia (1995) grade A = maks 30 g kg⁻¹, grade B = maks 60 g kg⁻¹ dan grade C = maks 150 g kg⁻¹.

Tabel 2. Sifat fisik dan kimia tanah yang digunakan untuk penelitian.

Sifat Tanah	Satuan	Hasil Analisis
Tekstur		
Pasir	%	40
Debu	%	5
Liat	%	55
pH (H ₂ O)	-	4,1
KCl 1 N	-	4,0
Bahan organik		
C-organik	mg kg ⁻¹	18,6
N-total	mg kg ⁻¹	1,9
C/N	-	10
Ekstrak HCl 25 %		
P ₂ O ₅	mg kg ⁻¹	130
K ₂ O	mg kg ⁻¹	40
P ₂ O ₅ (Bray 1)	mg kg ⁻¹	31,1
Ekstrak NH ₄ OAc 1 N pH 7		
Ca	Cmol kg ⁻¹	0,62
Mg	Cmol kg ⁻¹	0,27
K	Cmol kg ⁻¹	0,07
Na	Cmol kg ⁻¹	0,06
KTK	Cmol kg ⁻¹	9,22
KB	%	11
Kejernuhan Al	%	54

Tabel 3. Kadar P terekstrak HCl 25%, Olsen dan Bray 1 setelah diinkubasi 1, 2 dan 3 bulan pada Ultisols akibat pemupukan P-alam CIRP dan Tunisia.

Perlakuan	Dosis P kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	Kadar P pada pengamatan bulan ke-		
		1	2	3
HCl 25 %mg kg ⁻¹ P ₂ O ₅				
Kontrol	0	98 a*	127 a	79 a
CIRP 0,5	157,6	154 b	229 c	100 b
CIRP 1,0	315,2	174 b	241 c	136 c
Tunisia 0,5	157,6	164 b	188 b	130 c
Tunisia 1,0	315,2	202 c	257 c	184 d
Olsenmg kg ⁻¹ P ₂ O ₅				
Kontrol	0	14,7 a	21,0 a	14,0 a
CIRP 0,5	157,6	27,0 b	36,3 b	23,7 b
CIRP 1,0	315,2	37,7 d	46,0 c	35,0 c
Tunisia 0,5	157,6	32,3 c	51,7 c	29,0 bc
Tunisia 1,0	315,2	55,0 e	70,3 d	42,3 d
Bray 1mg kg ⁻¹ P ₂ O ₅				
Kontrol	0	25,7 a	29,0 a	27,3 a
CIRP 0,5	157,6	48,0 b	49,7 c	44,7 b
CIRP 1,0	315,2	66,3 d	68,3 d	63,0 c
Tunisia 0,5	157,6	57,7 c	45,3 b	58,3 c
Tunisia 1,0	315,2	90,7 e	78,3 e	89,3 d

Keterangan: * angka dalam kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan berbeda menurut DMRT pada taraf nyata 5%.

Sifat Fisik dan Kimia Tanah

Tanah Ultisols yang digunakan bertekstur liat, bersifat masam dengan pH tanah < 4,5, kadar C-organik, N-total, P dan K terekstrak HCl 25 % termasuk rendah (Tabel 2). Nilai tukar kation (Ca, Mg, K dan Na-dd) rendah. Kapasitas tukar kation dan kejenuhan basa rendah. Kejenuhan basa yang rendah menunjukkan bahwa tanah Ultisols didominasi oleh kation yang bersifat masam seperti H^+ dan Al^{3+} . Kejenuhan Al terlihat cukup tinggi, di atas batas toleransi untuk pertumbuhan tanaman jagung (40%). Batas toleransi kejenuhan Al untuk jagung adalah 28% (Wade *et al.*, 1988; Adiningsih dan Kasno, 1999).

Kadar Ca, Mg dan K tanah terekstrak NH_4OAc IN pH 7 rendah, hal ini membuktikan bahwa tanah Ultisols yang digunakan sudah mengalami pelapukan lanjut. Kejenuhan Ca dan K (21,5 dan 2,4 %) dibawah batas ideal untuk pertumbuhan tanaman, menurut McLean (1977) kejenuhan kation yang ideal dalam tanah adalah 65 % Ca, 10 % Mg, dan 5 % K. Dengan demikian pengapuran yang bertujuan untuk meningkatkan kadar Ca dan menurunkan Al sangat diperlukan. Namun untuk penelitian penggunaan pupuk P-alam (Ca > 25 %) secara langsung tanah tersebut tidak perlu dikapur.

Penelitian Inkubasi P-alam Tanpa Tanaman

Pengaruh pemupukan P-alam terhadap kadar P terekstrak HCl 25%, Olsen dan Bray 1 setelah 1, 2, dan 3 bulan pemupukan P pada Ultisols disajikan pada Tabel 3. Pemberian P-alam terlihat meningkatkan kadar P tanah, baik terekstrak HCl 25%, Olsen maupun Bray 1. Pemberian CIRP dan P-alam Tunisia dengan dosis 315,2 kg P_2O_5 ha⁻¹ nyata meningkatkan kadar P tanah dibandingkan dengan dosis 157,6 kg P_2O_5 ha⁻¹. Kadar P terekstrak HCl 25%, Olsen dan Bray 1 pada pemberian pupuk P-alam Tunisia lebih tinggi dan nyata dibanding dengan pemberian pupuk CIRP. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Sutriadi *et al.* (2005) yang menyatakan bahwa penambahan pupuk P-alam pada tanah Typic Hapludox Tanah Laut, Kalimantan Selatan setelah satu musim ditanami jagung kadar P_2O_5 terekstrak HCl 25% dan Bray 1 meningkat.

Pemberian P-alam cenderung meningkatkan pH tanah meskipun tidak nyata, hal ini disebabkan karena kedua pupuk P-alam mengandung kadar Ca tinggi (> 25%) sehingga mampu meningkatkan

pH tanah. Hal ini sejalan dengan penelitian Pemupukan TSP, P-alam Hahotoe dan Gafsa dengan dosis 100 mg kg⁻¹ tanah pada tanah Oxisols dapat meningkatkan pH tanah dari 4,0 menjadi 4,3; 4,1 dan 4,5 (Truong and Montagne, 1996). Namun demikian, semakin lama waktu inkubasi (3 bulan), pH tanah cenderung semakin menurun, hal ini berkaitan dengan meningkatnya kadar Al^{3+} dan H^+ dalam tanah (Tabel 4). Aplikasi P-alam hingga dosis 1 t ha⁻¹ tidak berpengaruh terhadap kadar Fe_2O_3 , Al_2O_3 , R_2O_3 tanah dibandingkan kontrol (Tabel 4). Pemberian pupuk P-alam CIRP dan Tunisia meningkatkan Fe_2O_3 , Al_2O_3 dan R_2O_3 pada bulan kedua dan menurun lagi setelah bulan ketiga. Hal ini membuktikan bahwa meskipun kadar R_2O_3 ($Al_2O_3 + Fe_2O_3$) yang terkandung dalam P-alam cukup tinggi, namun bila ditambahkan secara langsung ke dalam tanah tidak meningkatkan kandungan Al_2O_3 dan Fe_2O_3 atau R_2O_3 dalam tanah. Oleh karena itu batas minimum R_2O_3 dalam Standar Nasional Indonesia pupuk P-alam yang digunakan langsung dapat lebih tinggi dari batas minimum P-alam untuk industri (BSN, 1995). Pada BSN (2005) batas minimum Al_2O_3 dan Fe_2O_3 atau R_2O_3 sebagai persyaratan ditiadakan.

Pengaruh pemberian P-alam terhadap bentuk fraksi P yaitu Al-P, Fe-P, Rs-P dan Ca-P pada pengamatan 1, 2, 3 bulan pada Ultisols disajikan pada Tabel 5. Pemberian P-alam (CIRP dan Tunisia) meningkatkan semua bentuk fraksi P dibandingkan kontrol. Peningkatan kadar Al-P pada pemberian CIRP dengan dosis 315,2 kg P_2O_5 ha⁻¹ sama dengan pemberian P-alam Tunisia dosis 157,6 kg P_2O_5 ha⁻¹. Sedangkan kadar Al-P pada pemberian P-alam Tunisia dosis 315,2 kg P_2O_5 ha⁻¹ lebih tinggi dan berbeda nyata dibandingkan dengan CIRP dosis 315,2 kg P_2O_5 ha⁻¹ dan P-alam Tunisia dengan dosis 157,6 kg P_2O_5 ha⁻¹. Hara P tanah pada pemupukan P-alam Tunisia lebih tinggi dibandingkan dengan pemupukan CIRP namun difiksasi oleh Al menjadi Al-P yang tidak tersedia bagi tanaman. Hara P terekstrak Olsen dan Bray 1 pada P-alam Tunisia masih lebih tinggi daripada pupuk CIRP.

Pemberian P-alam baik CIRP maupun Tunisia dapat meningkatkan Fe-P. Kadar Fe-P pada CIRP (157,6 dan 315,2 kg P_2O_5 ha⁻¹) jauh lebih tinggi dan berbeda nyata dibanding kadar Fe-P pada pemberian P-alam Tunisia (Tabel 5). Hal ini dapat dijelaskan karena kadar Fe pada CIRP jauh lebih tinggi daripada P-alam Tunisia.

Pemberian P-alam dapat meningkatkan kadar Rs-P dan Ca-P. Kadar Rs-P dan Ca-P dalam tanah pada pemberian kedua P-alam (CIRP dan Tunisia)

sama. Kadar Al-P, Fe-P, Rs-P dan Ca-P tetap stabil dengan bertambahnya waktu inkubasi tanah hingga 3 bulan.

Tabel 4. pH tanah, Fe_2O_3 bebas, Al^{3+} dan H^+ setelah 1, 2 dan 3 bulan setelah inkubasi pada Ultisols akibat pemberian P-alam.

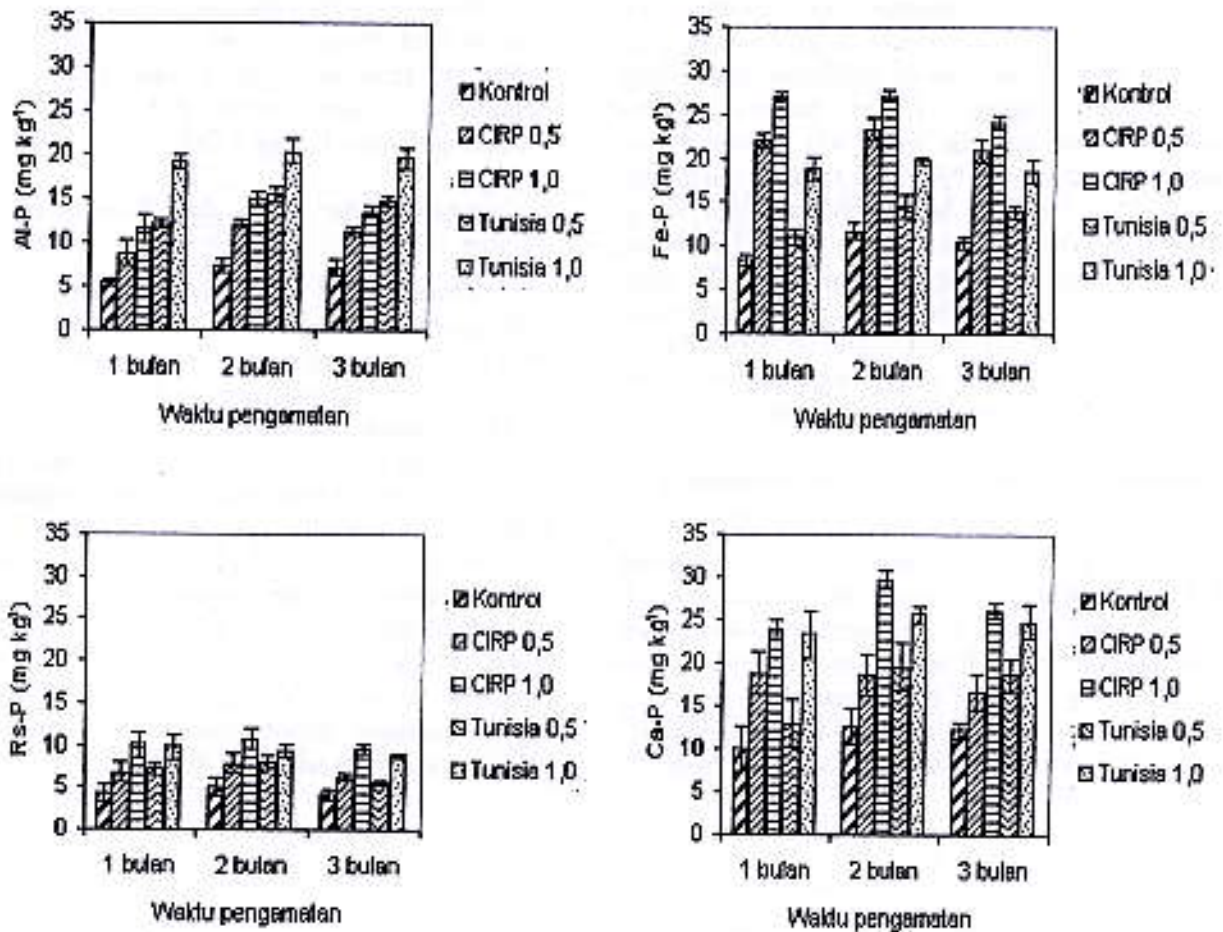
Perlakuan	Dosis P (kg P_2O_5 ha ⁻¹)	Waktu Pengamatan (bulan)					
		1	2	3	1	2	3
		pH tanah			Fe_2O_3 (mg kg ⁻¹)		
Kontrol	0	4,40 a*	3,94 a	3,52 a	17,060 a	25,994 b	20,109 a
CIRP 0,5	157,6	4,09 b	4,18 ab	3,74 b	16,949 a	28,955 a	21,034 a
CIRP 1,0	315,2	4,13 b	4,33 b	3,70 ab	17,146 a	29,185 a	20,309 a
Tunisia 0,5	157,6	4,27 ab	4,39 b	3,80 b	17,810 a	26,580 b	19,951 a
Tunisia 1,0	315,2	4,49 a	4,32 b	3,83 b	17,383 a	29,561 a	20,228 a
		Al_2O_3 (mg kg ⁻¹)			R_2O_3 (mg kg ⁻¹)		
Kontrol	0	1,814 a	2,852 a	2,632 a	18,875 a	28,846 a	22,741 a
CIRP 0,5	157,6	1,916 a	2,262 a	2,674 a	18,866 a	31,218 b	23,708 a
CIRP 1,0	315,2	1,956 a	2,058 a	1,752 a	19,102 a	31,243 b	22,061 a
Tunisia 0,5	157,6	1,956 a	2,058 a	2,075 a	19,766 a	28,638 a	22,026 a
Tunisia 1,0	315,2	1,673 a	2,058 a	1,752 a	19,056 a	31,619 b	21,980 a
		Al^{3+} (Cmol kg ⁻¹)			H^+ (Cmol kg ⁻¹)		
Kontrol	0	1,18 a	1,68 a	1,93 a	0,32 a	0,34 a	0,82 a
CIRP 0,5	157,6	1,07 a	1,23 b	2,11 a	0,36 a	0,65 a	0,60 a
CIRP 1,0	315,2	1,17 a	1,21 b	1,97 a	0,25 a	0,47 a	0,52 a
Tunisia 0,5	157,6	1,15 a	1,21 b	1,90 a	0,23 a	0,54 a	0,42 a
Tunisia 1,0	315,2	0,98 a	1,08 b	1,97 a	0,26 a	0,48 a	0,34 a

Keterangan: * angka dalam kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan berbeda menurut DMRT pada taraf nyata 5%.

Tabel 5. Kadar Al-P, Fe-P, Rs-P dan Ca-P setelah 1, 2, dan 3 bulan setelah inkubasi pada Ultisols akibat pemberian P-alam CIRP dan Tunisia

Perlakuan	Dosis P (kg P_2O_5 ha ⁻¹)	Waktu Pengamatan (bulan)					
		1	2	3	1	2	3
		$Al-P$ (mg kg ⁻¹)			$Fe-P$ (mg kg ⁻¹)		
Kontrol	0	5,4 a*	7,4 a	7,1 a	8,5 a	11,8 a	10,5 a
CIRP 0,5	157,6	8,7 b	12,2 b	11,3 b	22,0 d	23,3 d	20,9 d
CIRP 1,0	315,2	11,6 c	14,9 c	13,5 c	27,0 e	27,1 e	24,1 e
Tunisia 0,5	157,6	12,1 c	15,4 c	14,7 c	11,0 b	14,7 b	13,9 b
Tunisia 1,0	315,2	19,2 d	20,4 d	19,7 d	18,9 c	19,8 c	18,7 c
		$Rs-P$ (mg kg ⁻¹)			$Ca-P$ (mg kg ⁻¹)		
Kontrol	0	4,2 a	5,1 a	4,2 a	9,9 a	12,5 a	12,3 a
CIRP 0,5	157,6	6,8 b	7,8 b	6,3 b	18,8 b	18,7 b	16,6 b
CIRP 1,0	315,2	10,1 c	10,7 c	9,5 c	24,0 c	29,7 d	26,2 c
Tunisia 0,5	157,6	7,2 b	8,0 b	5,6 b	12,9 a	19,5 b	18,6 b
Tunisia 1,0	315,2	9,8 c	9,3 bc	8,8 c	23,3 c	25,7 c	24,9 c

Keterangan: * angka dalam kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan berbeda menurut DMRT pada taraf nyata 5%.



Gambar 1. Kadar Al-P, Fe-P, Rs-P dan Ca-P pada Ultisols akibat pemupukan P-alam CIRP dan Tunisia.

Pemberian pupuk P-alam dapat meningkatkan Al-P pada bulan 1, 2 dan 3 (Gambar 1). Pada semua perlakuan, peningkatan Al-P tertinggi terjadi pada bulan kedua dan cenderung menurun pada bulan ketiga. Kadar Fe-P pada pemberian pupuk CIRP dengan dosis 157,6 kg P₂O₅ ha⁻¹ cenderung meningkat pada bulan kedua dan menurun pada bulan ketiga. Sedangkan kadar Fe-P pada pemberian CIRP dosis 315,2 kg P₂O₅ ha⁻¹ nyata menurun pada bulan ketiga. Setelah 2 bulan pemberian P-alam Tunisia dosis 157,6 kg P₂O₅ ha⁻¹ meningkatkan kadar Fe-P dan sama pada bulan ketiga, sedangkan pada dosis 315,2 kg P₂O₅ ha⁻¹ kadar Fe-P pada inkubasi bulan 1, 2 dan 3 sama.

Pemberian pupuk P-alam terlihat meningkatkan residu P dalam tanah dan peningkatannya sama dari bulan 1, 2 dan ke-3, kecuali pada P-alam Tunisia dosis 157,6 kg P₂O₅ ha⁻¹ cenderung menurun pada bulan ketiga. Kadar Ca-

P pada pemberian pupuk CIRP terlihat meningkat pada bulan kedua, dan cenderung menurun pada bulan ketiga. Sementara kadar Ca-P pada pemberian P-alam Tunisia bulan kedua dan ketiga terlihat sama. Dari hasil fraksinasi terlihat bahwa bentuk Fe-P dan Ca-P lebih tinggi dibandingkan dengan Al-P dan Rs-P. Hal ini berarti hara P lebih mudah bereaksi dengan Fe-P atau Ca-P.

Penelitian Pemberian P-alam pada Tanaman Jagung

Pengaruh P-alam terhadap Pertumbuhan dan Hasil Jagung

Pengaruh pupuk P-alam terhadap pertumbuhan dan hasil jagung pada tanah Ultisols disajikan pada Tabel 6. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemupukan P dapat meningkatkan tinggi tanaman,

bobot brangkasan kering dan biji jagung kering. Tanpa pemupukan P, tanaman jagung tidak dapat berproduksi, hal ini menunjukkan bahwa pada tanah tersebut hara P merupakan pembatas utama bagi pertumbuhan jagung. Tinggi tanaman, bobot brangkasan kering dan bobot biji jagung kering pada dosis 157,6 kg P₂O₅ ha⁻¹ terlihat sama pada dosis 315,2 kg P₂O₅ ha⁻¹, demikian juga antara pupuk CIRP dan P-alam Tunisia. Bobot biji jagung kering tertinggi diperoleh pada pupuk CIRP dosis 315,2 kg P₂O₅ ha⁻¹, yaitu 34,54 g pot⁻¹ sebanding dengan Tunisia 29,70 g pot⁻¹. Hal ini berarti bahwa efektivitas pupuk CIRP sama dengan pupuk P-alam Tunisia terhadap pertumbuhan dan hasil jagung.

Pengaruh P-alam terhadap Ketersediaan P Tanah

Pengaruh pupuk P-alam terhadap P terekstrak HCl 25%, Olsen dan Bray 1 pada tanah Ultisols disajikan pada Tabel 7. Pemupukan P-alam nyata meningkatkan kadar P terekstrak HCl 25%, Olsen dan Bray 1. Kadar P tanah terekstrak HCl 25% pada pemupukan 157,6 kg P₂O₅ ha⁻¹ pupuk CIRP lebih tinggi dan nyata dibandingkan pemupukan P-

alam Tunisia. Sementara pada dosis 315,2 kg P₂O₅ ha⁻¹, kadar P terekstrak HCl 25% pada P-alam Tunisia lebih tinggi daripada pupuk P-alam CIRP. Kadar P terekstrak Olsen dan Bray 1 pada pemupukan P-alam Tunisia lebih tinggi dan nyata dibanding dengan P-alam CIRP.

Hubungan Kadar Hara dan Komponen Hasil Jagung

Pertumbuhan dan hasil tanaman jagung dipengaruhi oleh ketersediaan hara dalam tanah. Dari hasil penelitian di atas diketahui bahwa hara P merupakan pembatas utama bagi pertumbuhan tanaman jagung pada tanah Ultisols. Hal ini tampak pertumbuhan tanaman jagung pada perlakuan tanpa pupuk P (kontrol) yang tidak mampu menghasilkan biji.

Hubungan antara kadar P tanaman dengan bobot tanaman dan biji jagung kering pada tanah Ultisols disajikan pada Gambar 2. Peningkatan kadar P tanaman meningkatkan bobot kering tanaman dan bobot biji jagung. Kadar P tanaman untuk mencapai bobot kering tanaman dan biji jagung maksimum adalah 0,105%.

Tabel 6. Pertumbuhan dan hasil tanaman jagung pada tanah Ultisols akibat pemberian pupuk P-alam CIRP dan Tunisia.

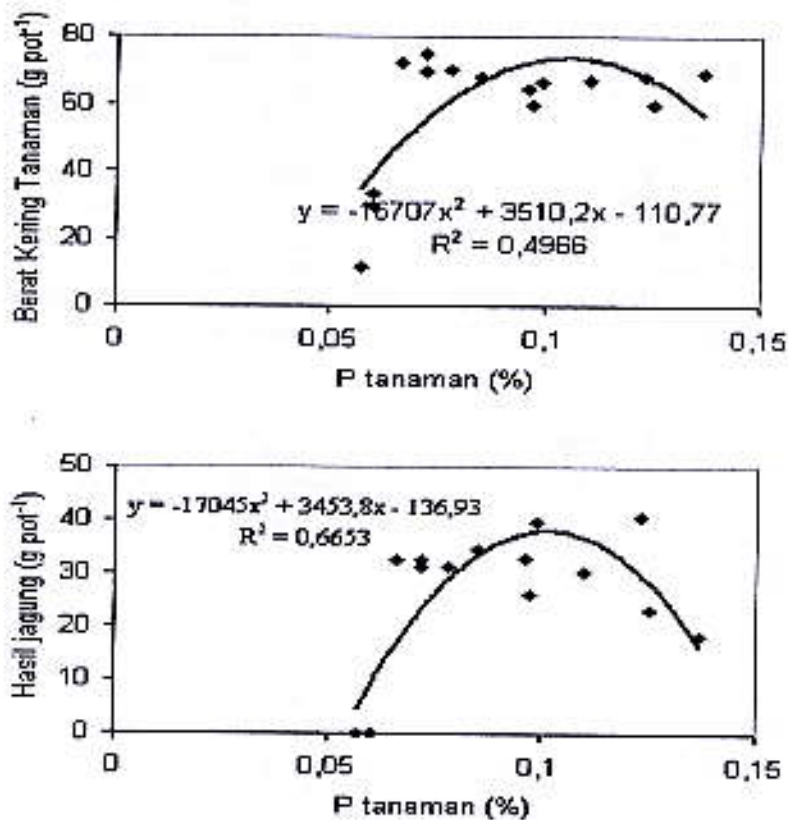
Perlakuan	Dosis P (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	Tinggi tanaman (cm)	Bobot brangkasan kering g pot ⁻¹	Bobot biji kering
Kontrol	0	115,7 b*	24,61 b	0,00 b
0,5 CIRP	157,6	166,6 a	66,84 a	31,05 a
1,0 CIRP	315,2	172,1 a	68,73 a	34,54 a
0,5 Tunisia	157,6	158,6 a	66,57 a	29,01 a
1,0 Tunisia	315,2	161,0 a	67,99 a	29,70 a

Keterangan: * angka dalam kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan berbeda menurut DMRT pada taraf nyata 5%.

Tabel 7. Kadar P terekstrak HCl 25%, Olsen dan Bray 1 pada Ultisols akibat pemberian pupuk P-alam CIRP dan Tunisia.

Perlakuan	Dosis P (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	HCl 25%	Olsen mg kg ⁻¹ P ₂ O ₅	Bray 1
Kontrol	0	131 a*	10 a	12 a
0,5 CIRP	157,6	602 c	37 b	70 b
1,0 CIRP	315,2	662 d	52 c	119 d
0,5 Tunisia	157,6	513 b	42 bc	89 c
1,0 Tunisia	315,2	880 e	65 d	156 e

Keterangan: * angka dalam kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan berbeda menurut DMRT pada taraf nyata 5%.



Gambar 2. Hubungan antara kadar P dalam tanaman dengan bobot tanaman (A) dan biji jagung kering (B) pada Ultisols.

Tabel 8. Persamaan regresi antara kadar P tanaman dan hasil jagung (Y) dengan kadar P tanah terekstrak HCl 25%, Olsen dan Bray1 (X) pada Ultisols.

Parameter	Persamaan Regresi ($y=a+bx+cx^2$)			
	a	b	c	R ²
Kadar P tanaman (%)				
P-HCl 25% ($\text{mg kg}^{-1} \text{P}_2\text{O}_5$)	1407,9	37.095,0	-156.508,0	0,71
P-Olsen ($\text{mg kg}^{-1} \text{P}_2\text{O}_5$)	80,8	2.161,2	-8.230,9	0,69
P-Bray 1 ($\text{mg kg}^{-1} \text{P}_2\text{O}_5$)	211,1	5.273,7	-19.817,0	0,67
Hasil jagung (g pot^{-1})				
P-HCl 25% ($\text{mg kg}^{-1} \text{P}_2\text{O}_5$)	14,7	0,1269	-0,00008	0,82
P-Olsen ($\text{mg kg}^{-1} \text{P}_2\text{O}_5$)	16,4	1,8926	-0,0179	0,84
P-Bray 1 ($\text{mg kg}^{-1} \text{P}_2\text{O}_5$)	7,9	0,7336	-0,0032	0,85

Persamaan regresi antara kadar P tanaman dan hasil jagung dengan kadar P tanah pada tanah Ultisols disajikan pada Tabel 8, terdapat hubungan kuadratik antara kadar P tanaman dengan P tanah. Berdasarkan kurva antara P tanaman dengan bobot

kering tanaman dan hasil jagung diperoleh nilai maksimum P dalam tanaman 0,105% (Gambar 2).

Terdapat hubungan linier kuadratik antara hasil jagung dengan kadar P tanah, dengan nilai R² > 0,8. Berdasarkan persamaan regresi tersebut, untuk

mencapai hasil jagung maksimum diperlukan kadar P tanah terekstrak HCl 25%, Olsen dan Bray 1 sebesar 790, 50 dan 115 mg kg⁻¹ P₂O₅.

KESIMPULAN

Pemupukan P-alam hingga dosis 315,2 kg P₂O₅ ha⁻¹ meningkatkan kadar P terekstrak HCl 25%, Olsen dan Bray 1. Kadar P terekstrak Bray 1 dan Olsen cenderung lebih tinggi pada pemupukan P-alam Tunisia dibandingkan dengan CIRP. Pemupukan P-alam CIRP dan Tunisia hingga 315,2 kg P₂O₅ ha⁻¹ tidak nyata meningkatkan pH tanah, Fe₂O₃, Al₂O₃, R₂O₃, Al³⁺, dan H⁺ tanah, namun nyata meningkatkan fraksi P tererap (Al-P, Fe-P, Ca-P dan Rs-P).

Kandungan R₂O₃ (Fe₂O₃, Al₂O₃) yang cukup tinggi dalam CIRP tidak meningkatkan kadar Al_{1d} dan Al₂O₃, Fe₂O₃, R₂O₃ dalam tanah, namun secara nyata meningkatkan bentuk fraksi P tererap Al-P, Fe-P, dan Rs-P.

Pemupukan P-alam CIRP dan Tunisia hingga dosis 315,2 kg P₂O₅ ha⁻¹ nyata meningkatkan tinggi tanaman, bobot kering tanaman dan biji jagung.

Pemupukan P-alam sangat nyata meningkatkan pertumbuhan dan hasil jagung pada Ultisols. Hasil jagung yang dipupuk CIRP tidak berbeda nyata dengan Tunisia. Pada Ultisols bobot kering biji jagung berkisar antara 29,0 – 34,54 g pot⁻¹.

Seperti halnya penelitian inkubasi tanpa tanaman, pemupukan P-alam CIRP dan Tunisia hingga dosis 315,2 kg P₂O₅ ha⁻¹ meningkatkan kadar P HCl 25% dan P tersedia terekstrak Olsen dan Bray 1 pada tanah Ultisols,

Kandungan P tanaman meningkat sejalan dengan meningkatnya dosis pemupukan P-alam. Terdapat hubungan yang nyata antara kandungan P tanaman, bobot kering tanaman, bobot biji jagung dan P tanah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada PT. Rolimex Kimia Nusamas yang telah memberi biaya penelitian dan Ibu Sri Adiningsih yang telah membimbing penulis sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Adiningsih, J.S., S. Rochayati, Moersidi, S., dan A. Kasno. 1997. Prospek penggunaan pupuk fosfat

alam untuk meningkatkan budi daya pertanian tanaman pangan di Indonesia. Hal. 25-64 dalam Pros. Seminar Nasional Penggunaan Pupuk P-Alam Mendorong Pembangunan Pertanian Indonesia Yang Kompetitif, Jakarta 16 Juli 1997, PT. Pupuk Sriwidjaja.

Adiningsih, J.S., A. Kasno, T. Fairhust dan D. Santoso. 2000. Pengujian SebarFos terhadap hasil tanaman palawija. Laporan Hasil Penelitian (belum dipublikasi).

Badan Standardisasi Nasional. 1995. Standar Nasional Indonesia No. 02-3776-1995, Pupuk fosfat alam untuk pertanian.

Badan Standardisasi Nasional. 2005. Standar Nasional Indonesia No. 02-3776-2005, Pupuk fosfat alam untuk pertanian.

Balittanah. 2005. Petunjuk teknis: analisis kimia tanah, tanaman, air, dan pupuk. Hal. 136. Balittanah, Bogor.

Boughton, T., dan R. 1997. Masalah mutu produk pupuk dan kebijakan yang diperlukan – pandangan pemasar. Hal. 23-31 dalam Pros. Seminar Nasional Identifikasi Masalah Pupuk Nasional dan Standarisasi Mutu yang Efektif. Bandar Lampung, 22 Desember 1997. Unila dan HITI Komda Lampung.

Bray R.H., and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available form of phosphorus in soil. Soil Sci. 59: 39-45.

Kasno, A., J. S. Adiningsih dan Moersidi, S. 1998. Keefektifan waktu pemberian dan jenis fosfat alam pada tanah Plinthic Kandiudults. J. Tanah Trop. 7: 59-73.

McLean, E.O. 1977. Contrasting concepts in soil testing interpretation: sufficiency levels of available nutrients versus basic cation saturation ratios. P. 39-52, In Soil Testing: Correlating and Interpreting the Analytical Results. ASA Special Publication No. 29. Madison, WA.

Mutert, E. W., and J. Sri Adiningsih. 1996. Tropical upland improvement: Comparative performance of different phosphorus source. Nutrient Management for Sustainable Crop Production in Asia. P. 97-108 In Pros. of an International Conference held in Bali, Indonesia, 9-12 December 1996., CAB International 198 Madison Avenue New York, USA.

Olsen, S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe, and L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular 939. U.S. Government Printing Office, Washington D.C.

Partohardjono, S., dan J. Sri Adiningsih. 1991. Response of food crops to phosphate rocks. Indonesian Agric. Res. Develop. J. 13 (3 &4): 46-57.

- Sutriadi, M.T., R. Hidayat, S. Rochayati, dan D. Setyorini. 2005. Ameliorasi lahan dengan fosfat alam untuk perbaikan kesuburan tanahkering masam Typic Hapludox di Kalimantan Selatan. Hal. 143-155 *dalam* Pros. Seminar Nasional Inovasi Teknologi Sumber Daya Tanah dan Iklim. Bogor, 14-15 September 2004. Puslittanak.
- Truong, B., and D. Montango. 1996. The African experience with phosphate rock, including Djebel Onk, and case studies in Brazil and Vietnam. Nutrient Management for Sustainable Crop Production in Asia. P. 133-148 *In* Pros. of an International Conference held in Bali, Indonesia, 9-12 December 1996., CAB International 198 Madison Avenue New York, USA.
- Wade, M. K., Dan W. Gill, H. Subagi, M. Sudjadi and Pedro A. Sanchez. 1988. Overcoming soil fertility constraints in a Transmigration area of Indonesia. Neil Caudle (ed). Trop Soils Bulletin No. 88-01. The Soil Management Collaborative Research Support Program, North Carolina State University.
- Widjaja-Adhi, IP. G. and J. A. Silva. 1986. Calibration of soil phosphorus test for maize on Typic Paleudults and Tropeptic Eustrustox. *Pemb. Penelitian Tanah dan Pupuk* No. 6: 32-39. Pusat Penelitian Tanah, Bogor.
- Widowati, L. R., S. Rochayati dan J. S. Adiningsih. 2003. Perubahan bentuk fraksi P dalam tanah dan pemanfaatan berbagai sumber P bagi tanaman jagung (belum dipublikasikan).
- Zhang, H. dan Kovar, J. L. 2000. Phosphorus fractionation. P. 50-59 *In* Methods of Phosphorus Analysis for Soils, Sediments, Residuals, and Waters. Southern Cooperation Series, Bulletin No. 396. North Carolina State University.