

Keunggulan Penggunaan Fosfat Alam pada Pertanaman Kedelai di Lahan Kering Masam

Excellence of Natural Phosphate on Soybean Planting in the Dry Acid Land

Andy Wijanarko

Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi
Jl. Raya Kendalpayak KM. 8 Malang, Jawa Timur
E-mail: ndy_wijanarko@yahoo.com

Naskah diterima 6 September 2015 dan disetujui diterbitkan 28 November 2015

ABSTRACT

Phosphorus is an essential nutrient required in large quantities by plants after Nitrogen. Rock phosphate is an alternative to improve the P availability in the soil, especially in acid soils. The use of rock phosphate in agriculture, should primarily be initiated by improving its reactivity due to its low reactivity. Characteristics of rock phosphate, chemical and physical properties of soil, and type of crops grown are greatly affecting the direct application rock phosphate in agriculture. The natural phosphate may be improved by the application of organic matter, use of strong acid or sulfur, application of phosphate solvent microorganisms, and increase use of high solubility fertilizer such as SP-36.

Keywords: Soybean, rock phosphate, acid soils.

ABSTRAK

Fosfat merupakan unsur hara esensial yang diperlukan dalam jumlah banyak setelah hara N. Penggunaan fosfat alam untuk pertanian merupakan salah satu alternatif untuk meningkatkan ketersediaan hara P dalam tanah, terutama pada tanah masam. Aplikasi fosfat alam digunakan untuk pertanian, terlebih dahulu harus ditingkatkan reaktivitasnya, terutama fosfat alam yang mempunyai reaktivitas rendah. Karakteristik fosfat alam, sifat kimiawi, dan fisika tanah serta jenis tanaman yang diusahakan sangat mempengaruhi penggunaan fosfat alam secara langsung untuk pertanian. Peningkatan fosfat alam dapat dilakukan dengan penambahan bahan organik, penggunaan asam keras atau sulfur, pemanfaatan mikro-organisme P, dan penambahan dengan pupuk yang mempunyai tingkat kelarutan yang tinggi seperti SP-36.

Kata kunci: Kedelai, fosfat alam, lahan masam.

PENDAHULUAN

Fosfat merupakan unsur hara esensial yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang cukup banyak. Fosfat diperlukan untuk pembentukan ATP yang merupakan sumber energi dalam proses perkembangan dan pertumbuhan tanaman (Correll 1998, Dobermann and Fairhurst 2000). Dalam tanah, P terdapat dalam bentuk organik dan anorganik, berupa $H_2PO_4^-$ dan HPO_4^{2-} serta H_2PO_4 (Tisdale *et al.* 1990).

Konsentrasi P dalam larutan tanah dipengaruhi oleh kecepatan dan tingkat imobilisasi secara biologi dan reaksi

dengan fraksi-fraksi mineral tanah. Tanah dengan kadar liat yang tergolong rendah (terutama tipe 1:1 dan kadar Al/Fe hidroksida tinggi) dapat memfiksasi P yang menyebabkan unsur ini tidak tersedia bagi tanaman (Kirk *et al.* 1998; Ramaekers *et al.* 2010). Ketersediaan hara P pada tanah masam dipengaruhi oleh pH tanah, Al dan Fe oksida/hidroksida, serta bahan organik. Pada tanah masam, Fe dan Al dalam bentuk bebas akan memfiksasi P sehingga menjadi bentuk kurang larut, dan dengan berjalannya waktu Al-P dan Fe-P menjadi tidak larut dan kurang tersedia bagi tanaman (Iyamuremye *et al.* 1996; Tan 2000).

Penggunaan pupuk P yang mudah larut air, seperti single super fosfat dan triple super fosfat di beberapa negara berkembang terkendala oleh harga pupuk yang mahal (Kpombekou and Tabatabai 2003). Fosfat alam dapat digunakan sebagai salah satu alternatif untuk mengatasi permasalahan tersebut. Deposit fosfat alam di Indonesia cukup besar, yaitu 7-8 juta ton dengan kadar P_2O_5 yang berkisar antara 1-38% (Moersidi 1999).

Fosfat alam mempunyai efektivitas yang hampir sama dengan TSP dan mempunyai efek residu yang lebih baik, harga lebih murah, menghemat tenaga kerja karena pemberiannya sekaligus dalam jumlah yang banyak dan tidak harus diberikan setiap musim tanam (Kisitu 1991, Idris 1995, Akintonkun *et al.* 2003).

Makalah ini mengungkapkan sebaran dan karakteristik fosfat alam di Indonesia, kecepatan pelarutan dan faktor yang mempengaruhi, pengaruhnya terhadap sifat kimia tanah, peningkatan reaktivitas, dan keunggulannya dalam meningkatkan hasil kedelai pada lahan kering masam.

SEBARAN DAN KARAKTERISTIK FOSFAT ALAM DI INDONESIA

Deposit fosfat alam umumnya ditemukan di daerah yang banyak mengandung kapur. Proses terbentuknya endapan fosfat alam menurut Yusuf (2014) adalah sebagai berikut:

1. Fosfat primer, terbentuk dari pembekuan magma alkali yang bersusunan nefelin, syenit dan takhit, mengandung mineral fosfat apatit, terutama fluor apatit $\{Ca_5(PO_4)_3F\}$, dan dalam keadaan murni mengandung 42% P_2O_5 dan 3,8% F_2 .
2. Fosfat sedimenter (marin), merupakan endapan fosfat sedimen yang terendapkan di laut dalam, pada lingkungan alkali dan suasana tenang, mineral fosfat yang terbentuk terutama frankolit.

3. Fosfat guano, merupakan hasil akumulasi sekresi burung pemakan ikan dan kelelawar yang terlarut dan bereaksi dengan batu gamping karena pengaruh air hujan dan air tanah. Berdasarkan tempatnya, endapan fosfat guano terdiri atas endapan permukaan, bawah permukaan, dan gua.

Fosfat alam di Indonesia umumnya mempunyai kandungan P yang rendah, sebagian besar kelas D atau E, artinya mengandung P_2O_5 di bawah 20% dan hanya cocok untuk penambangan kecil. Hasil eksplorasi Direktorat Geologi dan Mineral, Departemen Pertambangan dalam periode 1968-1985 telah menemukan cadangan fosfat alam yang diperkirakan 895 ribu ton yang tersebar di Pulau Jawa (66%), Sumatera Barat (17%), Kalimantan (8%), Sulawesi (5%), dan di Papua, Aceh, Sumatera Utara, dan Nusa Tenggara (4%). Perkiraan cadangan deposit fosfat alam terbesar terdapat di Jawa Timur yaitu di daerah Tuban, Lamongan, Gresik, dan Madura sekitar 313 ribu ton (Kasno *et al.* 2009).

Di Jawa Timur, deposit fosfat alam banyak terdapat di Madura, Gresik dan Tuban. Yusuf (2014) mengemukakan bahwa endapan fosfat di Madura mengisi rekahan, dolina dan gua, dalam jumlah yang kecil, umumnya terdapat pada batugamping terumbu Formasi Madura (Tpm), sebagian kecil pada batu gamping lempungan Formasi Pasean (Tmp) dan batu gamping berlapis Formasi Bulu (Tmb). Deposit endapan fosfat di Madura tersaji pada Tabel 1.

Di alam terdapat sekitar 150 jenis fosfat, sebagian besar fosfat alam ditemukan dalam bentuk apatit. Batuan fosfat alam yang berasal dari batuan sedimen dalam bentuk karbonat fluoapatit, berasal dari batuan beku dan metamorfik dalam bentuk fluorapatit dan hidroksi apatit. Deposit yang berasal dari ekskresi burung dan kelelawar dalam bentuk karbonat hidroksi apatit. Selain fosfat dan karbonat, dalam batuan fosfat alam terkandung unsur Ca,

Tabel 1. Endapan fosfat di daerah Madura.

Kabupaten	Kecamatan	Jenis mineral	Kandungan P_2O_5 (%)	Deposit
Sampang	Sokobanah Sampang Omben Kedundung Ketapang Jrengik	-	2,28-37,09	5.000.000 m ³
Pamekasan	Pasean Palengaan	Kolofan, dahlit dan hidrosiapatit	5,61-37,79	23.400 m ³
Sumenep	Lenteng Sumenep	Kolofan, dahlit dan hidrosiapatit	6,20-44,23	827.500 m ³

Mg, Al, Fe, Si, Na, Mn, Cu, Zn, Mo, B, Cd, Hg, Cr, Pb, As, V, U, F dan Cl (Kasno *et al.* 2009).

KECEPATAN KELARUTAN FOSFAT ALAM DAN FAKTOR YANG MEMPENGARUHI

Fosfat alam yang digunakan langsung sebagai pupuk harus diketahui kecepatan kelarutannya. Hal ini berhubungan dengan waktu aplikasi fosfat alam. Fosfat alam yang kelarutannya rendah dapat diaplikasikan jauh sebelum tanaman diusahakan, tetapi fosfat alam yang mempunyai kelarutan yang tinggi bisa diaplikasikan bersamaan pada saat tanam. Dengan mengetahui kecepatan pelarutan fosfat alam, diharapkan akan terjadi sinkronisasi kebutuhan hara yaitu terdapatnya ketersediaan hara pada saat tanaman membutuhkan. Kecepatan pelarutan fosfat alam dipengaruhi oleh:

1. Ukuran butir dan reaktivitas fosfat alam

Reaktivitas fosfat alam yang digunakan secara langsung dipengaruhi oleh ukuran butir. Makin halus ukuran butir fosfat alam makin reaktif, karena semakin tinggi

permukaan fosfat alam yang bersentuhan dengan permukaan koloid tanah. Kanabo dan Gilkes (1988) mengemukakan bahwa dari keempat kelompok ukuran butir fosfat alam asal North Carolina yaitu 150-250; 106-125; 45-53; dan < 38 μm menghasilkan kelarutan yang semakin tinggi dengan semakin kecilnya ukuran butir. Gilkes dan Bollen (1992) memperkuat hasil penelitian sebelumnya bahwa pemberian fosfat alam 3,5 $\mu\text{g/g}$ tanah yang diinkubasi selama 35 hari menunjukkan kelarutan dari 19% pada ukuran butir < 38 μm menjadi 12% pada ukuran butir 150-250 μm . Ukuran partikel pupuk fosfat alam juga mempengaruhi kesempurnaan pencampurannya dengan tanah yang mempunyai tekstur yang berbeda.

Penilaian kualitas fosfat alam sebagai pupuk dapat dilakukan secara kimia. Menurut Adiningsih *et al.* (1998), penilaian kualitas fosfat alam sebaiknya berdasarkan ekstrak asam lemah, bukan kandungan total P_2O_5 , karena kadar P total tidak mencerminkan kadar P yang larut. Kasno *et al.* (2009) mengemukakan terdapat tiga jenis pereaksi yang biasanya digunakan untuk menilai reaktivitas fosfat alam, yakni amonium sitrat pH 7, asam sitrat 2%, dan asam format 2%. Berdasarkan analisis dari ketiga pereaksi tersebut dapat dikategorikan sebagai fosfat alam dengan reaktivitas rendah, sedang, dan tinggi (Tabel 2). Fosfat alam yang mempunyai reaktivitas tinggi umumnya dapat digunakan langsung sebagai pupuk.

Di Indonesia, kualitas fosfat alam yang digunakan sebagai pupuk didasarkan pada kandungan P total dan kelarutannya dalam pereaksi asam sitrat 2%, yang diklasifikasikan dalam empat kategori yaitu A, B, C dan D. Kualitas fosfat alam yang baik digunakan sebagai pupuk adalah yang mempunyai kandungan P total lebih dari 20% dan kelarutannya dalam asam sitrat 2% lebih dari 6% (Tabel 3).

Tabel 2. Klasifikasi fosfat alam berdasarkan reaktivitasnya.

Fosfat alam	Kelarutan P_2O_5 (%)		
	Amonium sitrat pH7	Asam sitrat 2%	Asam format 2%
Tinggi	>5,4	>9,4	>13
Sedang	3,2-4,5	6,7-8,4	7,0-10,8
Rendah	>2,7	<6,0	>5,8

Sumber: Kasno *et al.* (2009).

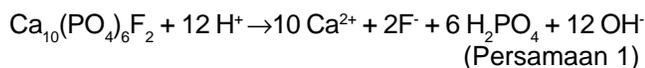
Tabel 3. Syarat mutu fosfat alam untuk pertanian (SNI 02-3776-2005).

No.	Uraian	Satuan	Persyaratan			
			Mutu A	Mutu B	Mutu C	Mutu D
1.	Kadar unsur hara fosfor sebagai P_2O_5					
	- Total	% b/b	min 28	min 24	min 14	min 10
	- Larut asam sitrat 2%	% b/b	min 7	min 6	min 3,5	min 2,5
2.	Kadar air	% b/b	maks 5	maks 5	maks 5	maks 5
3.	Kehalusan					
	- Kehalusan lolos 80 mesh Tyler	% b/b	min 50	min 50	min 50	min 50
	- Kehalusan lolos 25 mesh Tyler	% b/b	min 80	min 80	min 80	min 80
4.	Cemaran logam					
	- Cadmium (Cd)	ppm	maks 100	maks 100	maks 100	maks 100
	- Timbal (Pb)	ppm	maks 500	maks 500	maks 500	maks 500
	- Raksa (Hg)	ppm	maks 10	maks 10	maks 10	maks 10
5.	Cemaran Arsen (As)	ppm	maks 100	maks 100	maks 100	maks 100

2. Ketersediaan proton (protons supply)

Kemampuan tanah menyuplai proton merupakan salah satu faktor penting dalam proses pelarutan fosfat alam. Kanabo dan Gilkes (1987) mengemukakan bahwa ketersediaan proton dalam tanah bergantung pada kemasaman tanah yang mempunyai hubungan yang erat dengan pH tanah sehingga pH tanah dapat digunakan untuk memprediksi ketersediaan proton dalam tanah.

Kelarutan fosfat alam semakin meningkat pada pH tanah yang rendah. Pelarutan fosfat alam merupakan reaksi yang sederhana, di mana fluor apatit akan bereaksi dengan ion hidrogen yang menghasilkan ion fosfat dan ion kalsium dalam tanah:



Berdasarkan Persamaan 1, kelarutan fosfat alam juga dipengaruhi oleh reaksi tanah (pH), untuk menghasilkan 1 mol H_2SO_4 diperlukan 2 mol H^+ . Efektivitas kelarutan fosfat alam reaktif pada tanah masam termasuk rendah, terutama bila pH tanah kurang dari 4,5 dan konsentrasi P larutan tanah awal rendah. Jika pH tanah kurang dari 4,5 maka tanah perlu diberi kapur untuk menaikkan pH tanah sampai 4,5 untuk tanaman padi atau 5,0 untuk kedelai. Kelarutan fosfat alam juga menurun bila pH tanah lebih dari 6,0 (Dodot *et al.* 1999).

Di samping melepaskan fosfat ke dalam tanah, pelarutan fosfat alam juga melepaskan ion kalsium dan hidroksil. Pelepasan ion hidroksil ke dalam tanah dapat meningkatkan pH tanah sehingga aplikasi fosfat alam ke lahan kering masam mempunyai dua kelebihan, yaitu meningkatkan ketersediaan P, Ca, dan meningkatkan pH tanah. Penambahan fosfat alam ke dalam tanah tidak selalu meningkatkan pH tanah. Kanabo dan Gilkes (1988) mengemukakan bahwa inkubasi tanah dengan menggunakan fosfat alam di laboratorium meningkatkan pH tanah tetapi selang beberapa bulan pH tanah kembali seperti semula

Aplikasi fosfat alam di lapangan tidak konsisten meningkatkan pH tanah, bahkan seringkali tidak meningkat. Hal ini disebabkan oleh faktor penyebab kemasaman tanah yang tidak terkontrol seperti terjadinya nitrifikasi dan penyerap NH_4^+ oleh tanaman (Lewis *et al.* 1997).

3. Produk pelarutan

Hasil pelarutan fosfat alam adalah P dan Ca. Kalsium merupakan unsur yang dapat menghambat proses pelarutan fosfat alam. Nying dan Robinson (2006) mengemukakan bahwa konsentrasi Ca yang tinggi dalam

tanah berpengaruh terhadap pelarutan fosfat alam. Pada tanah dengan pH lebih dari 5,5, pelarutan fosfat alam lebih dipengaruhi oleh konsentrasi Ca dalam tanah dibandingkan dengan ketersediaan proton (proton supply). Peningkatan konsentrasi Ca dalam tanah dapat menghambat proses pelarutan fosfat alam (Agbenin 2004).

4. Karakteristik tanah

Sifat kimiawi dan fisika tanah dapat mempengaruhi pelarutan fosfat alam. Tanah dengan kandungan Ca tinggi, bahan organik rendah dan KPK yang rendah dapat menghambat pelarutan fosfat alam. Tanah dengan KPK rendah memiliki kemampuan menyerap Ca dalam kompleks jerapan yang rendah sehingga konsentrasi Ca dalam tanah meningkat, yang dapat menghambat proses pelarutan fosfat alam. Demikian juga pada tanah dengan kandungan bahan organik rendah yang kemampuannya membentuk khelat/kompleks dengan Ca semakin rendah. Konsentrasi Ca yang tinggi dalam tanah dapat menghambat pelarutan fosfat alam (Bolan *et al.* 1990).

Pada tanah yang mempunyai kemampuan retensi P tinggi, penggunaan fosfat alam dengan tingkat kelarutan yang rendah mempunyai efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan pupuk yang mempunyai kelarutan tinggi (Sanyal and De datta 1991).

Fisika tanah yang mempengaruhi pelarutan fosfat alam adalah kelembaban tanah. Evans *et al.* (2006) mengemukakan bahwa pelarutan fosfat alam lebih dipengaruhi oleh kelembaban tanah dibandingkan dengan suhu. Kanabo dan Gilkes (1988) menemukan kelarutan fosfat alam sekitar 4% pada tanah yang kering dan meningkat menjadi 13% pada tanah dengan kelembaban 12,5% kapasitas lapang dan menjadi 17% pada 100% kapasitas lapang.

5. Jenis tanaman

Tanaman yang mampu menyerap Ca dalam jumlah yang besar mampu meningkatkan proses pelarutan fosfat. Tanaman legum umumnya mempunyai pH rizosfer yang lebih rendah dibandingkan dengan tanaman nonlegum, karena pada akar tanaman legum selalu terjadi proses pemasaman di sekitar perakaran akibat proses fiksasi N. Tanaman yang mempunyai densitas akar yang tinggi dapat menyerap P dengan baik, sehingga proses kesetimbangan di dalam tanah akan terjaga dan pelarutan P menjadi tinggi. Perakaran tanaman juga dapat mengeluarkan asam-asam organik ke dalam tanah, yang dapat membentuk kompleks dengan Ca. Konsentrasi Ca yang rendah dalam tanah dapat mempercepat proses pelarutan fosfat alam (Ramirez *et al.* 2001)

6. Waktu

Proses kimiawi dalam tanah selalu berhubungan dengan waktu. Sparks (2003) mengemukakan reaksi kimia di dalam tanah dapat terjadi mulai mikro detik hingga tahunan. Proses pertukaran kation bisa terjadi dari mikro detik hingga hari, proses jerapan atau reaksi kompleks bisa terjadi dalam hitungan detik hingga bulan, sedangkan proses pelarutan mineral bisa terjadi dalam hitungan hari hingga tahun.

Menurut Abgenin (2004), proses pelarutan fosfat alam mengikuti model persamaan Mitscherlich:

$$\Delta P = A(1 - e^{-Cx})$$

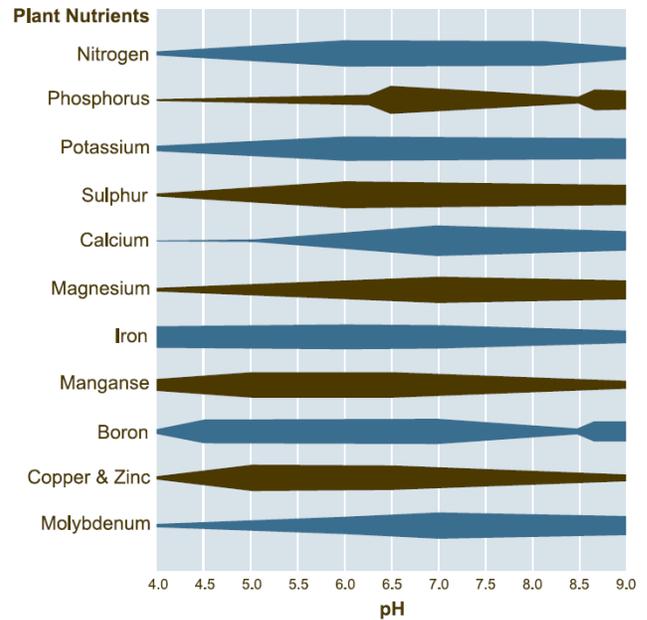
ΔP adalah jumlah P yang dilepaskan dari fosfat alam dalam suatu waktu, A adalah asimtot, C adalah koefisien parameter.

Persamaan di atas menunjukkan bahwa proses pelarutan fosfat alam terjadi dalam satu waktu saja, artinya proses dapat berlangsung dengan cepat. Hal ini jarang terjadi dalam proses kimiawi dalam tanah. Proses pelarutan mineral seperti fosfat alam terjadi melalui dua tahapan, yaitu proses kimiawi yang berjalan dengan cepat yang kemudian dilanjutkan dengan proses kimiawi yang berjalan lambat (Kanabo and Gilkes 1988).

PENGARUH FOSFAT ALAM TERHADAP SIFAT KIMIWI TANAH

Pemberian fosfat alam akan mengakibatkan perubahan reaksi dan keseimbangan baru walaupun lambat melepas P ke dalam larutan tanah. Pemberian fosfat alam dapat meningkatkan kadar P dalam tanah, dan kadar hara lain seperti Ca. Purnomo *et al.* (2001) mengemukakan pemberian fosfat alam dapat meningkatkan P tersedia dan P total. Hal ini bergantung pada kadar P total dan P yang terekstrak dengan asam sitrat 2% yang terkandung dalam fosfat alam. Semakin tinggi kadar P total dan P terekstrak asam sitrat 2% semakin tinggi ketersediaan P dalam tanah.

Penambahan fosfat alam juga meningkatkan konsentrasi Ca dalam tanah. Fosfat alam yang berasal dari fluor apatit tersusun atas Ca dan P, sehingga apabila terjadi proses pelarutan batuan fluor apatit akan melepaskan Ca ke dalam tanah (Issaka *et al.* 2003). Pemberian fosfat alam Ciamis yang mengandung Ca 32,85% mampu meningkatkan konsentrasi Ca dari 0,28 cmol/kg menjadi 0,51 cmol/kg (Purnomo *et al.* 2001). Issaka *et al.* (2003) mengemukakan pemberian fosfat alam 1.200 kg/ha yang berasal dari Togo meningkatkan konsentrasi Ca dari 1,75 cmol/kg menjadi 4,12 cmol/kg.



Gambar 1. Hubungan pH tanah dengan ketersediaan unsur hara. Sumber: Roy *et al.* (2006).

Perubahan sifat kimiawi lainnya akibat penambahan fosfat alam adalah meningkatkan pH tanah yang disebabkan oleh hidrolisis karbonat yang terkandung dalam fosfat alam yang menghasilkan ion-ion hidroksil (OH^-). Semakin tinggi hidrolisis karbonat dalam fosfat alam semakin tinggi peningkatan pH tanah. Peningkatan pH tanah akan berpengaruh terhadap sifat kimiawi tanah lainnya. Pada tanah masam, kelarutan Al meningkat pada pH tanah rendah. Meningkatnya pH tanah maka kelarutan Al akan menurun.

Peningkatan pH tanah memberikan pengaruh langsung maupun tidak langsung terhadap kelarutan unsur hara lainnya. Kelarutan nitrogen meningkat pada tanah dengan pH sekitar netral, karena proses mineralisasi bahan organik melibatkan mikroorganisme yang aktif pada pH sekitar 7. Kelarutan Fe, Mn, dan Cu melimpah pada tanah dengan pH rendah dan menurun pada pH sekitar netral atau mendekati 7. Ketersediaan Mo meningkat pada tanah dengan pH sekitar netral dan menurun pada pH rendah (Gambar 1).

PENINGKATAN REAKTIVITAS FOSFAT ALAM

Keuntungan penggunaan fosfat alam secara langsung antara lain adalah harga setiap kg P_2O_5 lebih murah, efektivitasnya hampir sama dengan SP-36, menghemat tenaga kerja karena biasanya diaplikasikan dalam jumlah banyak, tidak harus diberikan setiap musim, dan

mempunyai efek residu (Adiningsih *et al.* 1998, Rajan *et al.* 1996, Idris 1995). Selain itu, fosfat alam mempunyai kandungan unsur hara lain seperti Ca, Mg, Cu dan Zn yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan pupuk buatan, sehingga fosfat alam dapat berfungsi memperbaiki kimia tanah (Moersidi 1999). Walaupun mempunyai keunggulan, fosfat alam yang digunakan secara langsung mempunyai beberapa kelemahan, antara lain mempunyai tingkat kelarutan yang rendah, penggunaan fosfat alam dalam bentuk tepung halus menyulitkan aplikasinya di lapangan, bervariasi kualitas fosfat alam menyulitkan dalam standarisasi mutu dan pemakaian, dan faktor jarak juga harus diperhatikan karena harganya lebih mahal dari SP-36 (Adiningsih *et al.* 1998).

Fosfat alam dapat digunakan secara langsung sebagai pupuk dengan terlebih dahulu meningkatkan kualitasnya. Fosfat alam didominasi oleh mineral apatit dengan bahan ikutan berupa kuarsa, liat, besi, aluminium oksida, kalsit, dolomit, dan gipsum. Kalsium apatit yang berasal dari batuan sedimen termasuk fosfat alam yang reaktif sehingga dapat langsung digunakan sebagai sumber P, sedangkan fluor apatit yang kelarutannya rendah termasuk fosfat alam yang tidak reaktif. Fosfat alam dikatakan reaktif bila kombinasi sifat pupuk dan sifat tanah dapat meningkatkan kelarutan P (Kasno *et al.* 2009).

Kelarutan fosfat alam yang rendah dalam tanah dapat ditingkatkan dengan penambahan bahan organik, pencampuran dengan asam kuat, dan bakteri pelarut P (Vassileva *et al.* 1998; Whitelaw *et al.* 2000; Vassilew *et al.* 2006). Pemberian bahan organik pada fosfat alam Bojonegoro meningkatkan ketersediaan P dalam tanah, bahkan lebih tinggi dibandingkan dengan pemupukan SP-36, sedangkan pemberian bahan organik pada fosfat alam Lamongan juga meningkatkan ketersediaan P tetapi masih lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan SP-36. Pada perlakuan bahan organik pada SP-36, aplikasi fosfat alam Lamongan dan Bojonegoro meningkatkan pH tanah (Wijanarko 2008). Moersidi (1993) mengemukakan pemberian bahan organik dapat meningkatkan efisiensi pemupukan P yang ditunjukkan oleh semakin meningkatnya ketersediaan P. Pemberian bahan organik dapat menurunkan serapan P maksimal, kebutuhan P, kelarutan Al dan Fe. Pemberian asam-asam organik yang merupakan hasil dekomposisi bahan organik sangat efektif dalam pelepasan P pada fosfat alam yang mempunyai reaktivitas rendah dan sedang. Peningkatan kelarutan P pada fosfat alam akibat pemberian bahan organik disebabkan oleh bahan organik dapat memasok proton dan terbentuknya senyawa kompleks Ca dan anion organik. Senyawa organik ini dapat mencegah peningkatan konsentrasi Ca dalam larutan tanah dan peningkatan pH pada permukaan apatit (Kpoblekou and Tabatabai 2003, Ramirez *et al.* 2001, Scholefield *et al.* 1999).

Untuk meningkatkan reaktivitas fosfat alam juga dapat dilakukan dengan pengasaman sebagian (*Partially Acidulation Rock Phosphate* = PARP) dengan asam kuat seperti asam sulfat. Kelarutan PARP larut air dan asam sitrat umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan fosfat alam tanpa pengasaman. Peningkatan kelarutan fosfat alam juga dapat dengan mencampurkan bubuk belerang (Sholeh *et al.* 2001). Semakin tinggi dosis pemberian belerang semakin tinggi kelarutan fosfat alam yang diestimasi dari meningkatnya kadar P dalam tanah pada umur 8 minggu setelah inkubasi. Pada tanah Ultisol PARP, pengasaman 30% lebih efisien daripada TSP (Hartatik *et al.* 1998).

Efektivitas fosfat alam dapat dinilai dengan menghitung *Relative Agronomic Effectiveness* (RAE), dengan membandingkan pengaruh pemberian fosfat alam dengan pupuk baku TSP atau SP-36 (Suzette *et al.* 2010). Hammond dan Leon dalam McClelland dan Van Kauwenbergh (1992) mengelompokkan kelarutan fosfat alam dalam empat tingkat, yaitu tinggi, sedang, rendah, dan sangat rendah dengan nilai RAE masing-masing >90%, 90-70%, 70-30%, dan <30%.

PENGARUH PENINGKATAN REAKTIVITAS FOSFAT ALAM TERHADAP HASIL KEDELAI

Kebutuhan P tanaman kedelai di lahan kering masam sangat bervariasi, bergantung pada ketersediaannya dalam tanah. Wijanarko dan Taufiq (2008) mengemukakan bahwa batas kritis hara P tanah untuk tanaman kedelai di tanah Ultisol menggunakan pengekstrak Bray I adalah 5 dan 23 ppm P_2O_5 , sedangkan dengan menggunakan pengekstrak Bray II adalah 11 dan 38 ppm P_2O_5 . Berdasarkan batas kritis ini maka kelas ketersediaan hara P untuk kelas ketersediaan rendah, sedang, dan tinggi berturut-turut adalah <5 ppm, 5-23 ppm, dan >23 ppm P_2O_5 dengan metode Bray I dan dengan metode Bray II adalah <11, 11-38 dan >38 ppm P_2O_5 . Rekomendasi kebutuhan pupuk P berdasarkan ketersediaan hara rendah, sedang, dan tinggi berturut-turut adalah 104, 86 dan 40 kg SP-36/ha. Penggunaan pupuk P selain SP-36 adalah fosfat alam. Salah satu kekurangan fosfat alam adalah kelarutannya yang rendah. Hal ini dapat ditingkatkan dengan penambahan bahan organik, pencampuran dengan asam kuat, belerang, dan penambahan SP-36.

Pemberian bahan organik berupa pupuk kandang atau limbah tanaman dapat meningkatkan kelarutan fosfat alam sehingga meningkatkan ketersediaan P dalam tanah yang kemudian meningkatkan pertumbuhan tanaman. Hasil penelitian Wijanarko (2008) menunjukkan pencampuran bahan organik berupa biomassa kedelai pada fosfat alam

Tabel 4. Pengaruh residu fosfat alam terhadap hasil kedelai di tanah Ultisol, Thailand.

Pupuk	Dosis (kg P/ha)	Hasil(g/pot)		Serapan P dari pupuk (%)		RAE (%)	
		MT I	MT II	MT I	MT II	MT I	MT II
TSP	180	2,1	3,0	68,9	78,6	100	100
Fosfat alam Algeria	180	2,0	3,0	51,8	82,0	63	89

MT : Musim Tanam

Bojonegoro dengan dosis 105 kg P_2O_5 meningkatkan hasil kedelai pada Ultisol Lampung. Peningkatan berat biji mencapai 130% dibandingkan dengan perlakuan tanpa pemberian pupuk P. Pengaruh pemberian fosfat alam Bojonegoro terhadap hasil kedelai menyamai bahkan lebih tinggi dibandingkan dengan pemberian SP-36 dan fosfat alam Lamongan. Hasil penelitian Biswas dan Narayanasami (2006) menunjukkan pencampuran fosfat alam dan kompos dapat meningkatkan ketersediaan P dalam tanah dengan efektivitas 61,4% lebih tinggi dibandingkan dengan pupuk diamonium fosfat, serta meningkatkan RAE sebesar 173% dibandingkan dengan pupuk TSP.

Pencampuran fosfat alam dan belerang juga dapat meningkatkan reaktivitas fosfat alam. Hasil penelitian Wijanarko dan Farni (2008) menunjukkan pemberian belerang 12,5% dari kandungan P_2O_5 pada fosfat alam Bojonegoro memberikan hasil kedelai 35,6% lebih tinggi dibanding tanpa pupuk P dan 8,0% lebih tinggi dibandingkan dengan pemberian SP-36. Pemberian belerang hanya efektif pada fosfat alam yang mempunyai efektivitas atau kualitas rendah. Pemberian belerang dengan dosis yang lebih tinggi cenderung menurunkan hasil kedelai. Hal ini mungkin disebabkan oleh turunnya pH tanah. Pemberian belerang dengan dosis tinggi menyebabkan pH tanah turun. Stamford *et al.* (2007) mengemukakan bahwa penambahan 50 kg sulfur ke fosfat alam pada tanah dengan pH 5,0 pada perlakuan sulfur dengan dosis 100 kg, 150 kg dan 200 kg menurunkan pH tanah berturut-turut menjadi 4,3, 4,1 dan 4,0.

Peningkatan reaktivitas fosfat alam dapat juga dilakukan dengan penambahan pupuk P yang relatif mudah larut yaitu SP-36. Hasil penelitian Wijanarko dan Taufiq (2011) menunjukkan pemberian fosfat alam yang diperkaya SP-36 mampu meningkatkan hasil kedelai 110% dibandingkan dengan tanpa P dan 33,2% dibandingkan dengan perlakuan SP-36. Fosfat alam yang diperkaya SP-36 dengan dosis 9 kg P_2O_5 /ha mempunyai nilai RAE 185% dan 18 kg P_2O_5 /ha dengan nilai RAE 102%. Junior *et al.* (2011) mengemukakan bahwa pemupukan hara P dengan dosis 200 kg TSP/ha menghasilkan 2.900 kg/ha biji kedelai, dan meningkat 9% apabila ditambahkan 100 kg fosfat alam.

Selain meningkatkan ketersediaan P dalam tanah, pemberian fosfat alam juga mempunyai pengaruh residual yang cukup baik. Banyak penelitian yang menyebutkan bahwa pengaruh penambahan fosfat alam masih dapat dimanfaatkan untuk tanaman berikutnya. Pengaruh residu fosfat alam pada tanah masam lebih tinggi dibandingkan dengan P yang mudah larut, sehingga penggunaan fosfat alam secara langsung sebagai sumber P dapat dipandang sebagai investasi (Rochayati *et al.* 2007). Hasil penelitian Mahisarakul dan Pakkong (2002) mengemukakan bahwa penggunaan fosfat alam Algeria pada tanah Ultisol di Thailand meningkatkan serapan P yang berasal dari pupuk, nilai RAE, dan hasil kedelai. Serapan P yang berasal dari pupuk pada musim kedua meningkat menjadi 58%, nilai RAE dan hasil kedelai meningkat masing-masing 41% dan 50% dibandingkan dengan musim pertama. Serapan P yang berasal dari TSP pada musim pertama 68,9% dan meningkat menjadi 78,6% pada musim kedua, dan hasil kedelai meningkat dari 2,1 g/pot menjadi 3,0 g/pot (Tabel 4). Hal ini menunjukkan pupuk P yang berasal dari fosfat alam mempunyai efek residu yang lebih lama dibandingkan dengan TSP.

KESIMPULAN

Dalam batuan fosfat alam terkandung unsur Ca, Mg, Al, Fe, Si, Na, Mn, Cu, Zn, Mo, B, Cd, Hg, Cr, Pb, As, V, U, F dan Cl. Keuntungan penggunaan fosfat alam antara lain adalah harga setiap kg P_2O_5 lebih murah, dapat digunakan secara langsung, efektivitasnya hampir sama dengan SP-36, menghemat penggunaan tenaga kerja karena diaplikasikan dalam jumlah banyak dan tidak harus diberikan setiap musim, dan mempunyai efek residu. Kelemahannya adalah memiliki tingkat kelarutan yang rendah.

Kecepatan pelarutan fosfat alam ditentukan oleh sifat kimiawi dan fisika fosfat alam itu sendiri, faktor tanah, tanaman, dan waktu. Reaktivitas fosfat alam dapat ditingkatkan dengan pemberian bahan organik, belerang dan penambahan SP-36, khususnya pada fosfat alam dengan kualitas rendah. Fosfat alam dengan kualitas tinggi dapat digunakan secara langsung sebagai sumber pupuk P.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, J.S., U. Kurnia, dan S. Rochayati. 1998. Prospek dan kendala penggunaan P-alam untuk meningkatkan produksi tanaman pangan pada lahan masam marginal. Pros. Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. p.51-76.
- Agbenin, J.O. 2004. Free energy and kinetics of dissolution of sokoto rock phosphate and the implications for replenishing P in the savanna soils of Nigeria. *European Journal of Soil Science* 55:55-61.
- Akintokun, O.O., M.T. Adetunji, and P.O. Akintokun. 2003. Phosphorus availability to soyabean from and indigenous phosphate rock sample in soils from southwest Nigerian. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 65: 35-41.
- Biswas, D.R. and G. Narayanasamy. 2006. Rock phosphate enriched compost : An approach to improve low grade Indian rock phosphate. *Bioresouce Technology* 97: 2243-2251.
- Bolan, N.S., R.E. White, and M. J. Hedley. 1990. A review of the use of phosphate rock as fertilizers for direct application in Australia and New Zealand. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 30 : 397-313.
- Chien, S.H. 1992. Reactions of phosphate rock with acid soils of the humid tropics. Proc. Workshop on Phosphate Source for Acid Soil in the Humid Tropics of Asia. Kuala Lumpur, Malaysia 6-7 November 1990. p. 18-29
- Correll, D.C. 1998. The role of phosphate in eutrophication of receiving waters : A review. *Journal Environ. Qual.* 28: 261-266.
- Dobermann, A. and T.H. Fairhurst. 2000. Rice: Nutrient disorders & nutrient management. Oxford Graphic Printers Pte Ltd.
- Dodor, D.E., K. Oya, Y. Tokashiki, and M. Shimo. 1999. Dissolution of phosphate rock fertilizers in some soils of Okinawa, Japan. *Australian Journal of Soil Research* 37:115-122.
- Evan, J., L. McDonald, and A. Price. 2006. Application of reactive phosphate rock and sulphur fertilizers to enhance the availability of soil phosphate in organic farming. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 75: 237-243.
- Hartatik, W., A. Kasno, Prastowo, dan J.S. Adiningsih. 1998. Perbandingan efektivitas sumber dan takaran pupuk fosfat terhadap tanaman padi dan kedelai pada lahan kering masam. Pros. Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. p. 37-61.
- Idris, K. 1995. Evaluasi pemberian fosfat alam dari jawa dan pengapuran pada tanah masam I. Modifikasi ciri kimia tanah. *J. Ilmu Pert. Indon.* 5(2):57-62.
- Issaka, R.N., E.A. Dennis, and M.M. Buri. 2003. Management of phosphate rock in maize-cowpea cropping system. *Soil Sci. Plant Nutr.* 49:481-484.
- Iyamuremye, Dick. and Baham. 1996. Organic amendment and phosphorus dynamic I: Phosphorus chemistry and sorption. *Soil Sci.* 161(7): 426-435.
- Junior, A.O., L.I. Prochnow, and D. Klepker. 2011. Soybean yield in response to application of phosphate rock associated with triple superphosphate. *Sci. Agric.* 68(3): 276-385.
- Kanabo, I.A.K. and R.J. Gilkes. 1988. A comparison of mixed and band applications on the dissolution of North Carolina phosphate rock and on bicarbonate soluble soil phosphorus. *Fertilizer Research.* 15 : 3-12.
- Kanabo, I.A.K. and R.J. Gilkes. 1987. The role of soil pH in the dissolution of phosphate rock fertilizers. *Fertilizer Research* 12:165-174.
- Kasno, A., S. Rochayati, dan B.H. Prasetyo. 2009. Deposit, penyebaran dan karakteristik fosfat alam. *Dalam: Sastramihardja (eds.) Fosfat Alam: Pemanfaatan Fosfat Alam: Pemanfaatan Fosfat Alam yang digunakan langsung sebagai pupuk sumber P.* Balai Penelitian Tanah.
- Kirk, G.J.D., T. George, B. Courtois, and D. Senadhira. 1998. Opportunities to improve phosphorus efficiency and soil fertility in rainfed lowland and upland rice ecosystems. *Field Crop Research* 56: 73-92.
- Kisitu, V.B. 1991. Some aspects of using rock phosphate as direct application fertilizers. *Fertilizer Research* 30:191-192.
- Kpombrekou, K. and M.A. Tabatabai. 2003. Effect of low molecular weight organic acid on phosphorus and phytoavailability of phosphorus in phosphate rocks added to soil. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 98: 1-10.
- Lewis, D.C., R.P. Hindell, and J. Hunter. 1997. Effect of phosphate rock products on soil pH. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 37:1003-1008.
- Mahisarakul, J. and P. Pakkong. 2002. The use of ³²P radioisotope techniques for evaluating the relative agronomic effectiveness of phosphate rock materials in a soybean-maize crop rotation in acid soils of Thailand. *Dalam Zapata (Edited) Assesment of soil*

- phosphorus status and management of phosphatic fertilizers to optimize crop production. IAEA, Vienna.
- McClelland, E.H. and S.J. Van Kauwenvergh. 1992. Relationship of mineralogy to study phosphate rock reactivity. Proc. Workshop on Phosphate Source for Acid Soil in the Humid Tropics of Asia. Kuala Lumpur, Malaysia 6-7 November 1990. p. 1-17.
- Moersidi, S. 1999. Fosfat alam sebagai bahan baku dan pupuk fosfat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. p. 123.
- Nying, C.S. and S.J. Robinson. 2006. Factor influencing the dissolution of phosphate rock in a range of high P-fixing soils from Cameroon. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 37: 2627-2645.
- Purnomo, J., K. Idris, and E.L. Sisworo. 2001. Pengaruh fosfat alam dan pupuk kandang terhadap efisiensi pemupukan P pada Oxisol Sumatera Barat. *Pertemuan Ilmiah dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi* 305-312.
- Rajan, S.S.S., J.H. Watkinson, and A.G. Sinclair. 1996. Phosphate rocks for direct application to soil. *Advances in Agronomy* 57: 77-159.
- Ramaekers, L., R. Remans, I.M. Rao, M.W. Blair, and J. Vanderleyden. 2010. Strategies for improving phosphorus acquisition efficiency of crop plants. *Field Crops Research* 117: 169-176.
- Ramirez, R., S.M. Fernandez, and J.I. Lizaso. 2001. Changes of PH and available P and Ca in rhizosphere of Al-tolerant maize germplasm fertilized with phosphate rock. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32: 1551-1565.
- Roy, R.N., A. Finck, G.J. Blair, and H.L.S. Tandon. 2006. Plant nutrition for food security: A guide for integrated nutrient management. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 347 p.
- Sanyal, S.K. and De Datta. 1991. Chemistry of phosphorus transformations in soil. *Advances in Soil Science* 16: 37-55.
- Scholefield, D., R.D. Sheldrick, T.M. Martyn, and R.H. Lavender. 1999. A comparison of triple superphosphate and Gafsa ground rock phosphate fertilizers as P source for grass clover swards on a poorly drained acid clay soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystem* 53: 147-155.
- Sholeh, S., A. Hamid, dan T. Prihartini. 2001. Pencampuran P-alam dengan belerang untuk meningkatkan kelarutan P-alam di dalam tanah. *Pros. Seminar Nasional Reorientasi Pendayagunaan Sumberdaya Tanah, Iklim dan Pupuk*. Cipayung-Bogor. Puslitbang Tanah dan Agroklimat. p.369-382.
- Spark, D.L. 2003. *Environmental soil chemistry*. Academic Press. Amsterdam.
- Stamford, N.P., P.R. Santos, C.E.S. Santos, A.D.S. Freitas, S.H.L. Dias, and M.A. Lira Jr. 2007. Effectiveness of biofertilizers with phosphate rock, sulphur and *Acidithiobacillus* for yam bean grown on Brazilian tableland acidic soil. *Bioresource Technology* 98:1311-1318.
- Suzette, A.C., S.H. Chien, H.H. Stigh, and O. Hena. 2010. Relative agronomic effectiveness of phosphate rock compared with triple superphosphate for initial canola, wheat, ryegrass and residual wheat in two acid soils. *Soil Science* 175: 36-43.
- Tan, K.H. 2000. *Principles of soil chemistry*. Macel Dekker. Inc. New York. p.520.
- Tisdale, S.L., W.L. Nelson, and J.D. Beaton. 1985. *Soil fertility and fertilizers*. New York. p.751.
- Vassilev, N., A. Medina, R. Ascod, and M. Vassileva. 2006. Microbial solubilization of rock phosphate on media containing agro-Industrial wastes and effect of the resulting products on plant growth and P uptake. *Plant and Soil* 287:77-84.
- Vassileva, M., N. Vassilev, and R. Azcon. 1998. Rock phosphate solubilization by *Aspergillus niger* on olive cake-based medium and its further application in a soil-plant system. *World Journal Microbial Biotech.* 14: 281-284.
- Whitelaw, M.A. 2000. Growth promotion of plants inoculated with phosphate solubilizing fungi. *Advances in Agronomy* 69: 139-151.
- Yusuf, A.F. 2014. Endapan fosfat di Madura. Badan geologi. Diakses pada 1 Oktober 2014. www.Psdg.bgl.esdm.go.id.
- Wijanarko, A. dan A. Taufiq. 2008. Penentuan kebutuhan pupuk P untuk tanaman kedelai, kacang tanah dan kacang hijau berdasarkan uji tanah dilahan kering masam ultisol. *Buletin Palawija* 15:1-8.
- Wijanarko, A. 2008. Pengaruh penambahan bahan organik pada fosfat alam terhadap hasil kedelai di Ultisol Lampung. *Jurnal Agritek* 16(4):13-23.
- Wijanarko, A. dan Y. Farni. 2008. Pengaruh pemberian belerang pada fosfat alam terhadap hasil kedelai di Ultisol Lampung. *Jurnal Agritek* 16(5):25-35.
- Wijanarko, A. dan A. Taufiq. 2011. Effect of rock phosphate enriched with SP-36 to soybean yield on Ultisol Lampung. *Jurnal Agrivita* 33(1):1-7.

