

**FOSFAT ALAM:
PEMANFAATAN FOSFAT ALAM YANG DIGUNAKAN
LANGSUNG SEBAGAI PUPUK SUMBER P**

PENANGGUNG JAWAB
Kepala Balai Penelitian Tanah

REDAKSI PELAKSANA

Herry Sastramihardja
Farida Manalu
Sri Erita Aprillani

TATA LETAK
Didi Supardi

DITERBITKAN OLEH :
BALAI PENELITIAN TANAH
Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian
Departemen Pertanian

Jl. Ir. H. Juanda 98 Bogor 16123
Telp. (0251) 336757, Fax (0251) 321608
e-mail: soil-ri@indo.net.id
Website: <http://balittanah.litbang.deptan.go.id>
ISBN 978-602-8039-19-2

KATA PENGANTAR

Fosfat alam merupakan sumber pupuk fosfat (P) yang dapat digunakan sebagai bahan baku industri bahan kimia, produk makanan dan suplemen hewan, detergen, dan tidak ketinggalan untuk pembuatan pupuk P bagi pertanian. Hingga saat ini Industri pupuk menggunakan sekitar 90% fosfat alam yang diproduksi dunia. Konversi fosfat alam menjadi pupuk P yang mudah larut memerlukan biaya tinggi, pemborosan energi dan memerlukan jumlah bahan kimia seperti asam sulfat dan asam fosfat yang besar. Oleh karena itu diperlukan peningkatan efisiensi penggunaan pupuk P. Salah satunya adalah menggunakan fosfat alam sebagai pupuk secara langsung (*direct application phosphate rock/DAPR*).

Dalam upaya mengoptimalkan peranan fosfat alam untuk keperluan pertanian, Balai Penelitian Tanah telah menyusun buku dengan judul FOSFAT ALAM: PEMANFAATAN FOSFAT ALAM YANG DIGUNAAN LANGSUNG SEBAGAI PUPUK SUMBER P. Buku ini membahas mengenai sumber dan pemanfaatan fosfat alam bagi kebutuhan pertanian mulai dari lahan kering hingga lahan gambut. Tidak lupa dalam buku ini dibahas mengenai aspek yang berdampak terhadap lingkungan.

Dengan Terbitnya buku ini diharapkan dapat membantu para pembaca yang berkepentingan di dalam memperoleh informasi tentang pemanfaatan fosfat alam khususnya untuk bidang pertanian.

Ucapan terima kasih dan penghargaan kepada tim penyusun yang telah berdedikasi menyelesaikan buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat.

Bogor, November 2009
Balai Penelitian Tanah
Kepala,

Dr. Sri Rochayati, M.Sc.
NIP: 19571606 198603 2 001

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	
DEPOSIT, PENYEBARAN DAN KARAKTERISTIK FOSFAT ALAM	1
<i>A. Kasno, Sri Rochayati, dan Bambang Hendro Prasetyo</i>	
PENYEBARAN LAHAN MASAM, POTENSI DAN KETER- SEDIAANNYA UNTUK PENGEMBANGAN PERTANIAN ..	25
<i>Anny Mulyani, A. Rachman, dan A. Dairah</i>	
PEMANFAATAN FOSFAT ALAM UNTUK LAHAN KERING MASAM	47
<i>Sri Rochayati, Mas Teddy Sutriadi, dan A. Kasno</i>	
PEMANFAATAN FOSFAT ALAM UNTUK LAHAN SULFAT MASAM	65
<i>I.G.M. Subiksa dan Diah Setyorini</i>	
PEMANFAATAN FOSFAT ALAM PADA LAHAN GAMBUT <i>Wiwik Hartatik</i>	81
PENGGUNAAN FOSFAT ALAM UNTUK TANAMAN PERKEBUNAN	105
<i>Nurjaya, A. Kasno dan A. Rachman</i>	
PEMANFAATAN FOSFAT ALAM DITINJAU DARI ASPEK LINGKUNGAN	119
<i>Mas Teddy Sutriadi, Sri Rochayati dan Achmad Rachman</i>	

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Penyebaran deposit fosfat alam berasal dari batuan sedimen di dunia (minimal 30% P ₂ O ₅).....	6
Tabel 2.	Penyebaran deposit fosfat alam berasal dari batuan beku di beberapa negara di dunia (minimal 30% P ₂ O ₅)	7
Tabel 3.	Produksi fosfat alam dunia, 1988	9
Tabel 4.	Deposit fosfat alam di Indonesia menurut data yang dikumpulkan sebelum perang dunia II hingga 1958	10
Tabel 5.	Deposit fosfat alam di Indonesia menurut data yang dikumpulkan dari tahun 1968-1985	11
Tabel 6.	Deposit fosfat alam di Indonesia menurut data yang dikumpulkan tahun 2008 (Pusat Sumber Daya Geologi, 2008)	13
Tabel 7.	Klasifikasi fosfat alam untuk penggunaan langsung sebagai pupuk berdasarkan kelarutan ..	15
Tabel 8.	Syarat mutu pupuk P-alam untuk pertanian (SNI 02-3776-2005)	16
Tabel 9.	Penyebaran tanah masam berdasarkan ordo tanah	29
Tabel 10.	Luas lahan rawa berdasarkan bahan induk, <i>landform</i> dan tanahnya	31
Tabel 11.	Perkiraan luas berbagai lahan rawa di Indonesia .	32
Tabel 12.	Potensi lahan kering masam untuk pertanian tanaman semusim dan tahunan	35
Tabel 13.	Potensi lahan rawa untuk budi daya pertanian	37
Tabel 14.	Rincian lahan potensial tersedia untuk perluasan areal pertanian di lahan rawa dan lahan kering	38

Tabel 15. Baku hara P daun pada tanaman kelapa sawit pada pelepah daun ke-17	48
Tabel 16. Pengaruh pupuk fosfat alam terhadap produksi kelapa sawit pada percobaan di kebun Perlabian berdasarkan umur tanaman	49
Tabel 17. Pengaruh pupuk fosfat alam yang diasamkan terhadap rataan lilit batang tanaman karet, Desa Siancimun, Padang Bolak, Tapanuli Selatan (Nasution, 2002)	51
Tabel 18. Pengaruh pupuk fosfat alam terhadap pertumbuhan tanaman karet GT-1	51
Tabel 19. Pengaruh penambahan pupuk fosfat alam <i>Christmas</i> Island terhadap pertumbuhan bibit kakao di polibag	53
Tabel 20. <i>Relative agronomic effectiveness</i> (RAE) fosfat alam untuk tanaman pangan pada tanah masam di Pelaihari, Kalimantan Selatan	56
Tabel 21. Analisis usaha tani jagung per ha pada pengaruh fosfat alam di Kalimantan Selatan selama lima musim tanam (MH 2001/2002 – MH 2003/2004)	57
Tabel 22. Klasifikasi tipologi lahan sulfat masam	69
Tabel 23. Revisi klasifikasi tipologi lahan sulfat masam	69
Tabel 24. Komposisi gambut ombrogen di Indonesia dan kapasitas tukar kation (Driessen, 1978)	86
Tabel 25. Kandungan hara pada tiga tingkat kesuburan gambut	87
Tabel 26. Komposisi gambut hutan tropika tipe sangat masam (Hardon dan Polak, 1941 <i>dalam</i> Polak, 1975)	88
Tabel 27. Pengaruh sumber dan takaran P terhadap hasil jagung	90

Tabel 28. Bobot gabah dan jerami kering penelitian pengelolaan hara terpadu pada lahan sulfat masam potensial bergambut di Kalimantan Tengah	92
Tabel 29. Rataan bobot kering tanaman dan gabah serta serapan P total padi IR-64 akibat pemberian beberapa jenis fosfat alam atau SP-36 pada tanah gambut yang diberi bahan amelioran tanah mineral	93
Tabel 30. Jumlah hara yang diserap tanaman dalam bentuk panen dan pertumbuhan dalam berbagai tanaman perkebunan per tahun	107
Tabel 31. Jumlah unsur P yang diserap tanaman dari dalam tanah dan disitribusinya dalam tiap komponen tanaman	109
Tabel 32. Pertumbuhan lilit batang tanaman karet dengan sumber P pupuk TSP dan fosfat alam	111
Tabel 33. Perkiraan jumlah P termobilisasi, yang terangkut ke dalam produksi, dan yang dikembalikan ke dalam tanah pada tanaman karet menghasilkan ..	112
Tabel 34. Nilai RAE berbagai pupuk P-alam dibandingkan dengan TSP terhadap tanam kakao pada Kebun Cikopo, Cisalak dan Ciomas	113
Tabel 35. Hara yang diserap oleh tanaman kakao selama 5 tahun pada tanah Oxisols (Tropeptic Haplortox) dan Ultisols (Typic Paleudult)	114
Tabel 36. Deposit fosfat alam di Indonesia menurut data yang dikumpulkan sebelum perang dunia II hingga 1958	121
Tabel 37. Deposit fosfat alam di Indonesia menurut data yang dikumpulkan dari tahun 1968-1985	122

Tabel 38. Deposit batu fosfat di Indonesia menurut Peta Potensi Sumber Daya Geologi seluruh kabupaten di Indonesia (Pusat Sumber Daya Geologi, 2008)	125
Tabel 39. <i>Relative agronomic effectiveness</i> (RAE) fosfat alam untuk tanaman pangan pada tanah masam di Pelaihari, Kalimantan Selatan	135
Tabel 40. Pemanfaatan tumbuh-tumbuhan untuk remediasi tanah tercemar logam berat	137
Tabel 41. Pemanfaatan bakteri untuk remediasi logam berat	138
Tabel 42. Remediasi secara kimia dengan memanfaatkan bahan organik	139

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Diagram alir pemilahan lahan masam dengan non-masam	28
Gambar 2.	Pemanfaatan lahan kering masam (a dan b) dan lahan rawa (c dan d) untuk berbagai komoditas pertanian	42
Gambar 3.	Pengaruh pemupukan beberapa sumber pupuk P terhadap berat kering tanaman pada pembibitan karet di rumah kaca (Mahmud dan Pushparajah, 1990)	52
Gambar 4.	Hasil jagung akibat pemberian fosfat alam selama 5 musim tanam di Oxisols (atas) dan Ultisols (bawah) Kalimantan Selatan pada tiga tingkat perlakuan (A=SP-36/cara petani; B=P-alam 1 t ha ⁻¹ +pukan ayam 1 t ha ⁻¹ ; C=P-alam 1 t ha ⁻¹ + pukan ayam 2 t ha ⁻¹)	57
Gambar 5.	Pendapatan usaha tani jagung akibat pemberian fosfat alam di Oksisols (atas) dan Ultisols (bawah) Kalimantan Selatan selama 5 musim tanam pada tiga tingkat perlakuan (A=SP-36/cara petani; B=fosfat alam 1 t ha ⁻¹ + pukan ayam 1 t ha ⁻¹ ; C=fosfat alam 1 t ha ⁻¹ + pukan ayam 2 t ha ⁻¹)	58
Gambar 6.	Pengaruh pemberian beberapa jenis fosfat alam atau SP-36 pada tanah gambut yang diberi bahan amelioran tanah mineral terhadap proporsi serapan P oleh tanaman padi (Hartatik, 2003)	95
Gambar 7.	Persentase serapan P akibat pemberian beberapa jenis fosfat alam atau SP-36 pada tanah gambut yang diberi bahan amelioran tanah mineral (Hartatik, 2003)	96
Gambar 8.	Pola distribusi fosfat dalam kolom tanah	98

DEPOSIT, PENYEBARAN DAN KARAKTERISTIK FOSFAT ALAM

A. Kasno, Sri Rochayati, dan Bambang Hendro Prasetyo

PENDAHULUAN

Fosfat alam (*rock phosphate*) adalah nama umum yang digunakan untuk beberapa jenis batuan yang mengandung mineral fosfat dalam jumlah yang cukup signifikan, atau nama mineral yang mengandung ion fosfat dalam struktur kimianya. Banyak jenis batuan mempunyai komponen yang mengandung fosfat, akan tetapi batuan yang mengandung sejumlah fosfat yang mempunyai nilai ekonomi sebagai bahan tambang atau bijih tambang tidak banyak dijumpai.

Difinisi fosfat alam menurut American Geological Institute adalah batuan sedimen yang tersusun terutama oleh mineral fosfat (Gary *at al.*, 1974). Berdasarkan pada komposisi mineralnya batuan sedimen fosfat dapat dibedakan atas fosfat-Ca, fosfat Ca-Al-Fe dan fosfat Fe-Al (McClellan dan Gremillon, 1980). Ketiga jenis fosfat tersebut dapat merupakan suatu sekuen pelapukan dengan fosfat Fe-Al adalah yang paling lapuk.

Berdasarkan proses-proses pembentukannya fosfat alam dapat dibedakan atas tiga:

- Fosfat primer terbentuk dari pembekuan magma alkali yang mengandung mineral fosfat apatit, terutama fluor apatit $\{Ca_5(PO_4)_3F\}$. Apatit dapat dibedakan atas *Chlorapatite* $3Ca_3(PO_4)_2CaCl_2$ dan *Flour apatite* $3Ca_3(PO_4)_2CaF_2$.
- Fosfat sedimenter (marin), merupakan endapan fosfat sedimen yang terendapkan di laut dalam, pada lingkungan alkali dan lingkungan yang tenang. Fosfat alam terbentuk di laut dalam bentuk *calcium phosphate* yang disebut *phosphorit*. Bahan endapan ini dapat diketemukan dalam endapan yang berlapis-

lapis hingga ribuan milpersegi. Elemen P berasal dari pelarutan batuan, sebagian P diserap oleh tanaman dan sebagian lagi terbawa oleh aliran ke laut dalam.

- 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.

Di Indonesia banyak dijumpai deposit fosfat alam, antara lain dijumpai di Tasikmalaya, Cileungsi, Ciamis, Bumiayu dan di Bangkalan sampai Sumenep. Umumnya deposit fosfat alam ditemukan di daerah-daerah yang banyak mengandung kapur. Namun fosfat alam di Indonesia umumnya mempunyai kandungan P yang rendah, sebagian besar kelas D atau E (Sedyarso *et al.*, 1982). Artinya kandungannya di bawah 20% dan jumlahnya hanya cocok untuk penambangan kecil.

Agar fosfat alam menjadi pupuk yang efektif, apatit yang terkandung didalamnya harus dapat larut secara cepat setelah digunakan (Hughes dan Gilkes, 1984). Fosfat alam mengandung P larut air yang sangat kecil, sehingga bila digunakan dalam tanah sejumlah pelarutan hanya terjadi oleh reaksi antara fosfat alam dengan ion hidrogen yang ada. Dengan demikian kondisi tertentu diperlukan agar fosfat alam menjadi pupuk yang efektif. Kondisi tersebut antara lain fosfat alam harus reaktif sehingga mudah larut dalam tanah, sifat tanah harus mendukung pelarutan yang ekstensif dengan menyediakan ion hidrogen yang cukup, dan tanah harus basah sehingga difusi ion hidrogen, fosfat dan ion kalsium tidak terkendala.

Beberapa faktor yang mempengaruhi kelarutan fosfat alam antara lain konsentrasi H, Ca dan P di dalam larutan, komposisi fosfat alamnya khususnya adanya substitusi karbonat terhadap P pada apatit, derajat pencampuran antara fosfat alam dan tanah serta tingkat penggunaan fosfat alam pada tanah (Khasawneh dan Doll, 1978). Kelarutan fosfat alam dalam larutan tanah akan lebih

baik bila pH tanah, Ca dapat dipertukarkan dan konsentrasi P di dalam larutan tanah rendah (Chien, 1990). Pada tanah masam yang banyak memerlukan P penggunaan fosfat alam dinilai lebih efektif dan lebih murah dibandingkan bentuk P yang lain, karena pada tanah masam fosfat alam lebih reaktif dan lebih murah dibanding penggunaan superfosfat (Sanches, 1976).

Pemakaian langsung fosfat alam sebagai pupuk diketahui hampir sama efektifnya dengan pupuk P cair di beberapa negara (Engelstad *et al.*, 1974; Chien dan Hammond, 1978). Pemakaian fosfat alam dari North Carolina dan Tunisia pada tanah Podsolik Merah Kuning yang kahat P, pH 4,5 dan kejenuhan aluminium 78% selama empat musim tanam berturut-turut untuk tanaman padi gogo dan jagung menunjukkan bahwa fosfat alam tersebut lebih efektif bila dibandingkan TSP (Sedyarso *et al.*, 1982). Penelitian lainnya pada tanah podsolik dari Lampung dan Jambi menunjukkan bahwa fosfat alam mempunyai efektivitas yang sama dan bahkan lebih baik dari TSP (Sri Adiningsih dan Sri Rochayati, 1990).

Baik apatit maupun fosfat alam mempunyai nilai ekonomi dikarenakan kandungan P nya. Fosfat yang diperoleh dari apatit dan fosfat alam umumnya dimanfaatkan terutama untuk menghasilkan phosphoric acid (H_3PO_4) yang kemudian dipergunakan untuk menghasilkan larutan *sodium phosphate*, *monocalcium phosphate*, *flourine-free dicalcium phosphate* sebagai suplemen pakan ternak. Untuk keperluan di industri pupuk, fosfat alam sebaiknya mempunyai kandungan 30% P_2O_5 , kalsium karbonat (5%) dan <4% kombinasi oksida besi dan aluminium.

DEPOSIT DAN PENYEBARAN FOSFAT ALAM DUNIA

Deposit fosfat merupakan sumber daya alam yang sangat penting dalam industri pupuk fosfat untuk pertanian. Hanya beberapa negara yang beruntung di wilayahnya ditemukan deposit fosfat yang ekonomis baik untuk industri pupuk maupun untuk digunakan langsung sebagai pupuk. Deposit fosfat ditemukan dalam berbagai formasi geologi seperti sebagai batuan sedimen, batuan beku, batuan metamorfik, dan guano. Sekitar 80-90% batuan fosfat yang ditambang berasal dari batuan sediment, 10-20% berasal dari batuan beku (FAO, 2004), dan hanya 1-2% berasal dari guano terutama akumulasi hasil ekskresi burung dan kelelawar (van Straaten, 2002). Hampir semua deposit batuan sedimen berupa *carbonate-flourapatite* yang disebut *francolite*, mengandung banyak karbonat untuk substitusi fosfat yang sangat reaktif dan cocok digunakan langsung untuk pupuk atau amelioran.

Produsen pupuk rock fosfat dunia lebih dari 30 negara, dengan 12 produsen besar di dunia hampir dapat menghasilkan 95% total produk. Tiga produsen terbesar berada di: US, Morocco, China dan Federasi Rusia menghasilkan dua pertiga produksi pupuk. Negara Arab menghasilkan 25% total produksi pupuk rock fosfat dunia, dan sejumlah 57% merupakan cadangan. Cadangan dunia tanpa Marocco adalah 50% dari total cadangan, sementara US dan China mempunyai cadangan berkisar antara 20% dari total cadangan (JOPH, 2007).

Negara yang mempunyai deposit fosfat potensial untuk pupuk atau bahan industri pupuk, yaitu Afrika Utara seperti Maroko (5.000 juta t), Sahara Barat (1.600 juta t) serta Aljazair, Tunisia, Angola, Togo, dan Senegal dengan cadangan 100-500 juta t. Sedangkan di daerah timur tengah antara lain di Mesir (800 juta t), Jordania dan Israel masing-masing 100 juta t serta di Syria sebesar 400 juta t. Di Benua Eropa antara lain di USSR (Rusia) sebesar 1.500 juta t, di Perancis, Jerman, dan Belgia masing-masing sebesar 15 juta t. Di Asia yang terbesar di Mongolia 250 juta t, di China, Vietnam dan India sekitar 70-100 juta t.

Sedangkan di Australia sebesar 500 juta t. Di benua Amerika Utara di pantai timur (Florida, North Carolina, Tennessee) masing-masing sebesar 1.000 juta t serta di bagian tengah (Wyoming, Montana, Idaho) dengan cadangan 600 juta t. Sedangkan negara lain seperti Meksiko, Brazil, Kolumbia dan Venezuela dengan deposit sekitar ratusan ton. Penyebaran deposit fosfat alam di dunia berasal dari batuan sedimen disajikan pada Tabel 1.

Deposit fosfat alam berasal dari batuan beku (10-20%) ditemukan dengan ketebalan berkisar antara puluhan sampai ratusan meter dan kadar P_2O_5 sampai 35%. Fosfat alam ini berkualitas tinggi. Deposit yang utama ditemukan di Rusia terdapat di semenanjung Kola (400 juta t). Di Afrika Selatan, Uganda, Brazil, dan Finlandia masing-masing sebesar antara 50-100 juta t. Sedangkan deposit fosfat dari batuan beku di Kanada, Rhodesia, Korea, India, dan lain tempat hanya terdapat relatif rendah yaitu sekitar 5-10 juta t. Penyebaran deposit fosfat alam di dunia berasal dari batuan beku disajikan pada Tabel 1.

Deposit fosfat sisa pelapukan ditemukan di Amerika Utara (Tennessee, USA bagian tengah dan barat), Senegal, Kolombia, dan Amerika Selatan. Jumlah deposit dari ratusan sampai jutaan ton dan merupakan deposit yang penting karena kualitasnya yang tinggi.

Deposit batuan terfosfatisasi berasal dari guano yang terkenal ditemukan di pulau-pulau karang di lautan Pasifik seperti di Pulau Nauru (50 juta t), di Kepulauan Oceania sekitar 2-10 juta t tiap lokasi dan di lautan Hindia di Pulau *Christmas* (100 juta t).

Tabel 1. Penyebaran deposit fosfat alam berasal dari batuan sedimen di dunia (minimal 30% P_2O_5)

Lokasi/Negara	Cadangan	Sumber daya
		juta t

Afrika Utara		
<i>Aljazaer</i>	500	600
<i>Maroko</i>	5.000	35.000
<i>Tunisia</i>	500	800
Afrika Barat		
<i>Angola*</i>	20	100
<i>Senegal</i>	190	3.000
<i>Sahara Barat</i>	1.600	15.000
<i>Togo</i>	100	200
Timur Tengah		
<i>Mesir</i>	800	2.000
<i>Iran*</i>		100
<i>Irak</i>	30	600
<i>Israel</i>	60	200
<i>Jordan</i>	100	200
<i>Saudi Arabia*</i>	100	1.000
<i>Syria*</i>		300
Eropa		
<i>Turkey</i>	400	400
<i>Kazakhstan</i>	950	950
<i>Rusia</i>	500	2.000
<i>Perancis, Belgia, Jerman</i>	15	30
Australia	500	1.500
Asia		
<i>China</i>	100	1.000
<i>India</i>	70	200
<i>Mongolia</i>	250	700
<i>Vietnam</i>	100	400
<i>Pakistan*</i>		150
Amerika Utara		
<i>Bagian Timur</i>	1.600	6.000
<i>Bagian Barat</i>	6.000	7.000
Amerika Selatan		
<i>Meksiko*</i>		1.140
<i>Brazil</i>		520
<i>Colombia</i>	200	600
<i>Peru (Sechura)</i>		6.100
<i>Venezuela</i>	20	20
Total deposit fosfat alam	19.705	87.810

* Belum ditambang, Sumber: Cathcart (1980)

Tabel 2. Penyebaran deposit fosfat alam berasal dari batuan beku di beberapa negara di dunia (minimal 30% P₂O₅)

Lokasi/Negara	Cadangan	Sumber daya
	————— juta t —————	

Kola Peninsula, Rusia	400	400
Phalaborwa, Afrika Selatan	100	1.300
Brazil	237	775
Uganda Timur	40	160
Finlandia	50	100
Korea Utara	5	30
Rhodesia Selatan	10	10
Kanada*		40
Lain-lain	10	30
Total deposit fosfat alam	852	2.845

* Belum ditambang, Sumber: Cathcart (1980)

Deposit guano yang merupakan suatu bahan yang mengandung nitrogen dan fosfat berasal dari akumulasi hasil ekskresi binatang laut dan kelelawar. Deposit yang besar terdapat di Chili dan Peru sebesar ratusan ribu ton dan berasal dari guano dari ekskresi burung. Tebal lapisan deposit di Peru sampai 45 m. Dalam jumlah kecil ditemukan di Venezuela, Equador, Brazil, Madagaskar, dan Pulau Seychelles. Sedangkan deposit guano dari ekskresi kelelawar antara lain di Taiwan, Thailand, Philipina, Malaysia, Indonesia, Jamaika, dan Anguila. Kandungan guano umumnya 15% N, 10-12% P_2O_5 sebagai bentuk yang mudah larut dan 2% K_2O . Diperkirakan fosfat alam di Pulau Jawa terjadi dengan proses semacam ini, tetapi gua asli sebagai tempat kelelawar menimbun ekskresinya telah hilang akibat erosi dan pelapukan sehingga tinggal deposit fosfat yang diperkaya saja.

Pada umumnya kadar P_2O_5 dalam fosfat alam di dunia bervariasi dari 16-37% bahkan yang berasal dari batuan beku bisa mencapai 42% P_2O_5 . Kadar P_2O_5 dalam deposit sediman umumnya lebih homogen sekitar 20-32%.

PRODUKSI FOSFAT ALAM DUNIA

Produksi fosfat alam dunia dimulai pada pertengahan abad 19. Pada tahun 1847, fosfat alam mulai ditambang di Suffolk, Inggris sebesar 500 t. Pada tahun 1945 produksi fosfat alam 10 juta t, tahun 1974 lebih dari 100 juta t, perkembangan produksi fosfat alam meningkat secara linier sampai pertengahan tahun 1960 mencapai sekitar 50 juta t. Pada tahun 1980-an dan memasuki awal tahun 1990 produksi fosfat alam mulai stagnasi dan tampaknya mulai menurun pada tingkat produksi dunia sekitar 150-160 juta t.

Produksi fosfat alam dunia pada tahun 1988 74,8% dari empat negara, yaitu Amerika Serikat, Uni Soviet, Maroko dan Sahara Barat, dan China. Produksi fosfat alam keempat berkisar antara 10,2 – 28,0 produksi dunia. Produksi delapan negara berkisar antara 1,4 – 4,1%. Produksi fosfat alam yang diproduksi oleh 23 negara berkisar antara <0,1 – 0,8% dunia, Indonesia memproduksi fosfat alam 1.000 t atau <0,1% produksi dunia.

Produksi fosfat alam tahun 1999 terutama dari Amerika Serikat, Rusia, Maroko dan Sahara Barat, serta China. Produksi fosfat alam menurun terjadi di Amerika Serikat, Maroko dan Sahara Barat, sedangkan meningkat 85%. Secara keseluruhan produksi fosfat dunia menurun dari 162 juta t pada tahun 1988 menjadi 145 juta t pada tahun 1999 atau menurun 10%.

Tabel 3. Produksi fosfat alam dunia, 1988

Negara produsen	Produksi fosfat alam (1.000 t), tahun	
	1988	1999
Amerika Serikat	45.389	40.867
Uni Soviet	34.400	-
Rusia	-	11.219
Maroko dan Sahara Barat	25.015	21.986
China	16.600	30.754
Sub total 4 negara	121.404 (75)	104.826 (72)

Yordania	6.611	6.014
Tunisia	6.103	8.006
Brasil	4.672	4.301
Israel	3.464	4.128
Togo	3.464	1.715
Afrika Selatan	2.850	2.941
Siria	2.342	2.084
Senegal	2.326	1.879
Sub total 12 negara	153.251 (95)	135.894 (93)
Nauru	1.540	604
Algeria	1.332	1.093
Irak	1.273	415
Mesir	1.146	1.018
Meksiko	835	955
India	739	-
Finlandia	584	734
Korea Utara	500	70
Vietnam	330	710
Swedia	142	-
Zimbabwe	125	124
Turki	74	-
Kolombia	35	4
Pakistan	35	-
Sri Lanka	23	30
Tanzania	15	-
Australia	13	145
Peru	13	15
Mali	10	-
Chili	9	-
Thailand	8	-
Filipina	8	-
Indonesia	1	-
Kazakhstan	-	900
Pulau <i>Christmas</i>	-	683
Venezuela	-	366
Kanada	-	350
Uzbekistan	-	139
Total dunia	162.041	145.472

Sumber: Stowasser, 1990, Van Kauwenbergh, 2001

DEPOSIT DAN PENYEBARAN FOSFAT ALAM DI INDONESIA

Deposit fosfat alam di Indonesia pada umumnya ditemukan di daerah pegunungan karang, batu gamping atau dolomitik yang merupakan deposit gua yang tersebar di Aceh, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Nusa Tenggara, dan Irian Jaya atau Papua. Menurut data yang dikumpulkan sampai tahun 1958 diperkirakan 663 ribu t, sekitar

76% terdapat di Pulau Jawa dan sekitar 23% terdapat di Sumatera Barat (Tabel 4). Selanjutnya dari hasil Survei Explorasi tahun 1968-1985 oleh Direktorat Geologi dan Mineral, Departemen Pertambangan telah ditemukan cadangan fosfat alam yang diperkirakan sebesar 895 ribu t yang tersebar di Pulau Jawa (66%), Sumatera Barat (17%), Kalimantan (8%), Sulawesi (5%), dan sekitar 4% tersebar di Papua, Aceh, Sumatera Utara, dan Nusa Tenggara. Perkiraan cadangan deposit fosfat alam terbesar terdapat di Jawa Timur yaitu di daerah Tuban, Lamongan, Gresik, dan Madura sekitar 313 ribu t (Tabel 4).

Tabel 4. Deposit fosfat alam di Indonesia menurut data yang dikumpulkan sebelum perang dunia II hingga 1958

No	Provinsi	Jumlah lokasi	Perkiraan deposit	
			t	Kadar P ₂ O ₅ %
1.	Aceh	5	1.800	5,9
2.	Sumatera Utara	1	304	29,3
3.	Sumatera Barat	16	152.000	t.d
4.	Jawa Barat	77	169.640	9,3-43,4
5.	Jawa Tengah	104	228.175	10,1-35,1
6.	Jawa Timur	75	105.639	< 40,3
7.	Nusa Tenggara	2	3.000	1,3-27,2
8.	Irian Jaya	2	2.500	15,0-31,5

Keterangan: t.d = tidak ditetapkan, Sumber: Samo Harjanto (1986)

Deposit gua atau batu kapur terdapat pada daerah yang terpencar dan belum ditemukan deposit dalam jumlah yang cukup, kecuali untuk diusahakan dalam skala kecil. Berdasarkan dari keadaan geologi beberapa daerah yang cukup potensial diduga terdapat sekitar 1 atau 2 juta t deposit fosfat seperti di Ciamis, Pati, daerah antara Lamongan dan Tuban, serta di Hulu Mahakam, Kalimantan Timur. Pada daerah deposit fosfat yang telah diketahui diduga terdapat pula deposit P dari endapan laut yang biasanya cukup homogen dan dalam jumlah yang besar. Dari hasil eksplorasi tahun 1990 ditemukan fosfat endapan laut dengan kadar P₂O₅

sekitar 20-38% dalam jumlah sekitar 2-4 juta t pada formasi batu gamping Kalipucung di Ciamis.

Tabel 5. Deposit fosfat alam di Indonesia menurut data yang dikumpulkan dari tahun 1968 - 1985

No	Provinsi	Peta	Deposit	
			t	Kadar P ₂ O ₅ %
1.	Jawa Barat:			
	- Lebak	(1)	4.000	23,0-30,0
	- Rangkasbitung	(2)	td	td
	- Cibinong, Leuwiliang, Ciamis, Cigugur, Cijunjung, Parigi, dll	(3)	99.459	1,0-38,0
2.	Jawa Tengah:			
	- Sukolilo, Brati, Pati	(4)	119.000	10,0-38,0
	- Karangayun, Grobogan	(5)	54.500	26,0
3.	Jawa Timur:			
	- Tuban	(6)	25.831	28,0
	- Lamongan	(7)	186.680	31,0
	- Gresik	(8)	25.500	29,0
	- Madura	(9)	74.518	28,0
	- P.Kangean	(10)	t.d	t.d
4.	Kalimantan:			
	- Kandangan	(11)	75.240	12,5-37,0
5.	Sulawesi:			
	- P. Kakabiya	(12)	45.000	0,4-25,1
6.	Timor Timur			
	- Quelical	(13)	t.d	t.d
7.	Irian Jaya:			
	- Misool	(14)	t.d	3,0-8,0
	- Anjawi	(15)	2.500	3,0
	- Ayamaru	(16)	td	28,00
8.	Aceh	(17)	1.800	5,9
9.	Sumatera Utara	(18)	304	29,3
10.	Sumatera Barat	(19)	152.000	t.d
11.	Nusa Tenggara	(20)	30.000	1,3-27,2

Sumber: Sarno Harjanto (1986) dalam Moersidi S. (1999)

Pada umumnya deposit fosfat alam di Indonesia mempunyai kadar total P₂O₅ sangat bervariasi dari rendah sampai sedang dan ada beberapa deposit yang mencapai kadar sampai 40% P₂O₅. Reaktivitas fosfat alam atau kelarutan fosfat alam yang menentukan kemampuan fosfat alam melepaskan P untuk tanaman juga sangat bervariasi (< 1 – 18% P₂O₅).

Sebaran deposit fosfat di Daerah Madura tersebar setempat-setempat mengisi rekahan dan gua-gua dalam jumlah

yang sedikit. Deposit fosfat alam di Kabupaten Sampang terdapat di Bira Timur, Kecamatan Sokobanah, Kecamatan Sampang, Omben, Kedundung, Ketapang dan Kecamatan Jrengik, jumlah sumber daya sekitar 5.000.000 m³. Kisaran kandungan P₂O₅ antara 2,28 - 37,09%. Endapan fosfat di Kabupaten Pamekasan terdapat di Kecamatan Pasean, Pakong dan di Kecamatan Palengaan. Mineralnya terdiri atas kolofan, dahlit dan hidroksiapatit, dengan kisaran kandungan P₂O₅ antara 5,61 - 37,79%, jumlah sumber daya sekitar 23.400 m³. Endapan fosfat di Kabupaten Sumenep terdapat di 22 desa dalam 11 kecamatan. Mineralnya terdiri atas kolofan, dahlit dan hidroksiapatit, dengan kisaran kandungan P₂O₅ antara 6,20 - 44,23%, terendah terdapat di Desa Ellak Daya, Kecamatan Lenteng (P/17 = 6,20%) dan tertinggi di daerah Desa Kabunan, Kecamatan Sumenep (P/15 = 44,23%). Endapan fosfat dengan kandungan P₂O₅ di atas 30% terdapat sebanyak 15 lokasi sekitar 33,3% dari keseluruhan jumlah lokasi, tersebar di 10 desa dan delapan kecamatan. Luas sebaran fosfat seluruhnya sekitar 31 ha dengan jumlah sumber daya sekitar 827.500 m³ (Yusuf, 2000).

Hasil survei deposit fosfat alam di Indonesia yang dilakukan oleh Pusat Sumber Daya Geologi (2008) disajikan pada Tabel 6. Deposit batuan fosfat >100.000 t terdapat di Ciamis, Magelang, Kebumen, Bangkalan, Sampang, dan Kalimantan Selatan. Deposit fosfat di Kalimantan Selatan berupa guano, tersebar di gua-gua yang terbentuk di pegunungan.

Tabel 6. Deposit fosfat alam di Indonesia menurut data yang dikumpulkan tahun 2008 (Pusat Sumber Daya Geologi, 2008)

No	Provinsi	Deposit	Kadar P ₂ O ₅
		t	%
1.	Jawa Barat:		
	- Bogor	30.000	33,04
	- Sukabumi	40.000	33,00-39,00
	- Ciamis,	2.516.100	14,55-39,00
2.	Jawa Tengah:		

- Sukolilo, Pati	85.000	25,0-35,0
- Salaman, Magelang	225.000	-
- Ayah, Buayan, Kebumen	285.000	10,0-28,0
- Grobogan	90.750	30,0
- Batuwarno, Giritontro, Pracimantoro, Wonogiri	20.400	14,65-35,00
3. Jawa Timur:		
- Dander, Bojonegoro	1.870	31,32
- Paceng, Sedayu, Gresik	2.500	-
- Babat, Brondong, Lamongan	7.100	-
- Pacitan	77.000	-
- Tuban	80.400	33,4-49,3
- Bangkalan	312.500	-
- Sampang	15.000.000	9,79-43,14
4. Aceh	21.000	6,25-40,91
5. Kalimantan Selatan	166.200	8,82-11,18
6. Kalimantan Timur	800	-

Karakteristik fosfat alam

Di alam terdapat sekitar 150 jenis mineral fosfat dengan kandungan P sekitar 1-38% P_2O_5 . Sebagian fosfat alam ditemukan dalam bentuk apatit. Pada umumnya deposit fosfat alam berasal dari batuan sedimen dalam bentuk karbonat fluorapatit yang disebut francolite ($Ca_{10-x-y}Na_xMg_y(PO_4)_{6-z}(CO_3)_zF_{0,4z}F_2$), sedangkan deposit berasal dari batuan beku dan metamorfik biasanya dalam bentuk fluorapatit ($Ca_{10}(PO_4)_6F_2$) dan hidroksi apatit ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$). Adapun deposit yang berasal dari ekskresi burung dan kelelawar (*guano*) umumnya ditemukan dalam bentuk karbonat hidroksi apatit ($Ca_{10}(PO_4,CO_3)_6(OH)_2$). Mineral lain seperti kuarsa, kalsit, dan dolomit umumnya juga ditemukan dalam mineral apatit sebagai *secondary mineral*.

Selain fosfat dan karbonat, di dalam batuan fosfat alam terkandung berbagai unsur seperti Ca, Mg, Al, Fe, Si, Na, Mn, Cu, Zn, Mo, B, Cd, Hg, Cr, Pb, As, U, V, F, Cl. Unsur utama di dalam fosfat alam antara lain P, Al, Fe, dan Ca. Secara kimia, fosfat alam dapat dikategorikan menjadi fosfat alam dengan dominasi Ca-P atau Al-P dan Fe-P sedangkan unsur lain merupakan unsur ikutan yang bermanfaat dan sebagian lain kurang bermanfaat bagi tanaman. Unsur ikutan yang perlu diwaspadai adalah kandungan logam berat yang cukup tinggi dalam fosfat alam, seperti Cd, Cr,

Hg, Pb, dan U.

Fosfat alam mempunyai tingkat kelarutan tinggi pada kondisi masam, oleh karena itu sangat sesuai apabila digunakan sebagai sumber pupuk P pada lahan kering masam seperti Ultisol, Oxisol dan sebagian Inceptisol, dan kurang sesuai digunakan pada tanah bereaksi netral dan alkalin. Secara umum, kelarutan fosfat alam akan meningkat dengan menurunnya pH, Ca-dapat ditukar dan P dalam larutan tanah.

Fosfat alam mempunyai efek residu jangka panjang karena mempunyai sifat *slow release*, oleh karena itu pemberian fosfat alam dapat diberikan sekaligus pada saat tanam dan dapat digunakan hingga beberapa musim berikutnya.

Kualitas fosfat alam

Untuk menjaga mutu fosfat alam dilakukan penilaian kualitas berdasarkan ketersediaan hara P bagi tanaman menurut kelarutan secara kimia dan respon tanaman. Secara kimia, penilaian kualitas fosfat alam dapat dilakukan dengan menentukan kadar P_2O_5 dalam fosfat alam yang didasarkan atas kelarutan dalam satu atau lebih metode analisis, seperti P larut dalam asam kuat atau asam mineral dan P larut dalam asam lemah. Kelarutan fosfat alam dalam asam kuat atau asam mineral menyatakan kadar P total, sedangkan kelarutan dalam asam lemah menyatakan reaktivitas atau kelarutan.

Reaktivitas atau kelarutan dari fosfat alam adalah suatu parameter yang menunjukkan kemampuan fosfat alam untuk melepaskan P yang dapat digunakan tanaman. Reaktivitas fosfat alam umumnya dapat ditentukan dengan tiga jenis pereaksi (larutan kimia) yaitu amonium sitrat pH 7, asam sitrat 2%, dan asam format 2%. Ketiga pereaksi tersebut umumnya mempunyai efektivitas yang hampir sama untuk menduga reaktivitas fosfat alam. Klasifikasi fosfat alam potensial untuk digunakan langsung sebagai pupuk berdasarkan kelarutan dalam ketiga pereaksi

disajikan pada Tabel 7. Reaktivitas fosfat alam berasal dari batuan sedimen umumnya lebih tinggi dari batuan beku.

Tabel 7. Klasifikasi fosfat alam untuk penggunaan langsung sebagai pupuk berdasarkan kelarutan

Fosfat alam potensial	Kelarutan (% P ₂ O ₅)		
	Amonium sitrat pH 7	Asam sitrat 2%	Asam format 2%
Tinggi	> 5,4	> 9,4	> 13,0
Sedang	3,2 – 4,5	6,7 – 8,4	7,0 – 10,8
Rendah	> 2,7	< 6,0	> 5,8

Sumber: Diamond (1978)

Berdasarkan kadar P₂O₅ total dan yang terlarut dalam asam sitrat telah dilakukan penggolongan kualitas fosfat alam ke dalam empat golongan yaitu P-alam dengan mutu A, B, C, dan D seperti tertuang dalam SNI 02-3776-2005 (Tabel 8). Kualitas fosfat alam yang baik adalah yang mengandung total P₂O₅ lebih dari 20% dan yang mempunyai reaktivitas tinggi dengan kadar P₂O₅ larut dalam asam sitrat 2% lebih dari 6%. Kualitas berbagai jenis fosfat alam berasal dari dalam negeri dan luar negeri disajikan pada Tabel 8. Diketahui bahwa sebagian besar fosfat alam asal Indonesia mempunyai mutu yang lebih rendah dari fosfat alam luar negeri. Pengawasan mutu sangat diperlukan untuk menghindari terjadinya salah pilih dan manipulasi.

Tabel 8. Syarat mutu pupuk P-alam untuk pertanian (SNI 02-3776-2005)

No	Uraian	Satuan	Persyaratan			
			Mutu A	Mutu B	Mutu C	Mutu D
1.	Kadar fosfor sebagai P ₂ O ₅					
	- Total	% b/b	min 28	min 24	min 14	min 10
	- Larut asam sitrat	% 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	% b/b	min 50	min 50	min 50	min 50

	mesh Tyler					
	- Kehalusan lolos 80	% b/b	min 80	min 80	min 80	min 80
	mesh Tyler					
4.	Cemaran logam:					
	- Cadmium (Cd)	ppm	maks100	maks100	maks100	maks100
	- Timbal (Pb)	ppm	maks500	maks500	maks500	maks500
	- Raksa (Hg)	ppm	maks 10	maks 10	maks 10	maks 10
5.	Cemaran arsen (As)	ppm	maks100	maks100	maks100	maks100

Reaktivitas fosfat alam hanya menunjukkan tingkat kemampuan fosfat alam melepaskan P yang potensial tersedia untuk tanaman, tetapi tidak dapat digunakan untuk menduga jumlah P tersedia untuk tanaman karena efektivitas agronomi dari fosfat alam di lapangan tergantung banyak faktor. Oleh karena itu penilaian kualitas fosfat alam selain dengan cara kimia juga dilakukan dengan cara penilaian respon tanaman yang disebut persentase tanggap tanaman atau lebih dikenal dengan istilah efektivitas relatif agronomis (*relative agronomic effectiveness=RAE*). Penilaian RAE fosfat alam dapat diukur berdasarkan persentase peningkatan hasil di lapangan antara tanaman yang dipupuk fosfat alam dibandingkan dengan TSP atau pupuk standar lain. Fosfat alam dengan RAE $\geq 100\%$ mempunyai efektivitas yang sama atau lebih tinggi dari pupuk standar.

Selain kualitas fosfat alam, regulasi untuk fosfat alam yang digunakan langsung perlu mempertimbangkan tiga faktor utama yaitu reaktivitas/kelarutan fosfat alam, sifat tanah (terutama pH tanah) dan jenis tanaman. Faktor sosio-ekonomi dan isu kebijakan akan menentukan produksi dan distribusi, serta adopsi dan penggunaan fosfat alam oleh petani.

PEMANFAATAN FOSFAT ALAM

Penggunaan fosfat alam untuk industri dan pertanian

Fosfat alam merupakan sumber P yang dapat digunakan sebagai bahan baku industri seperti pupuk P yang mudah larut/*water-soluble P/WSP* (antara lain TSP, SP-18, SSP, DAP, MOP), bahan kimia, produk makanan dan suplemen hewan, dan detergen. Industri pupuk menggunakan sekitar 90% fosfat alam yang diproduksi di dunia. Konversi fosfat alam menjadi pupuk P yang mudah larut memerlukan biaya tinggi, pemborosan energi dan memerlukan jumlah bahan kimia seperti asam sulfat dan asam fosfat yang besar. Oleh karena itu diperlukan peningkatan efisiensi penggunaan pupuk P. Salah satunya adalah menggunakan fosfat alam sebagai pupuk secara langsung (*direct application phosphate rock/DAPR*).

Namun demikian tidak semua fosfat alam dapat digunakan untuk *direct application* tergantung dari reaktivitasnya karena selain harus dapat melarut juga harus dapat tersedia bagi tanaman. Fosfat alam yang mempunyai reaktivitas atau kelarutan yang relatif tinggi dapat digunakan secara langsung sebagai pupuk pada lahan kering masam. Fosfat alam juga dapat digunakan di lahan sawah masam bukaan baru atau lahan sulfat masam dengan syarat kadar Fe dalam fosfat alam rendah. Penggunaan fosfat alam secara langsung sebagai pupuk diharapkan mempunyai efektivitas yang sama dengan pupuk P yang mudah larut. Efektivitas fosfat alam ditentukan oleh beberapa faktor antara lain reaktivitas, ukuran butiran, pH tanah, dan respon/tanggap tanaman.

Fosfat alam yang mempunyai reaktivitas dan nilai RAE rendah terdapat kemungkinan untuk memperbaikinya dengan teknologi pupuk yang pada umumnya memang mengarah untuk menciptakan pupuk yang lebih efisien baik sehubungan dengan keperluan tanaman dan tanah maupun nilai ekonominya.

Teknologi pupuk untuk mengefisienkan pupuk P dapat dilakukan dengan cara biologi antara lain dengan membuat fosfo-kompos (mencampurkan fosfat alam dengan kompos), inokulasi

dengan *versicular-arbuscular mycorrhiza*, menggunakan mikro-organisme pelarut P, dan menggunakan species tanaman yang toleran terhadap defisiensi P. Secara kimiawi dapat dilakukan dengan pengasaman sebagian dan dikenal dengan pupuk PARP (*partially acidulated phosphate rock*). Teknologi ini merupakan cara yang paling efektif untuk mengefisienkan penggunaan superfosfat dan fosfat alam. Namun hal ini bukan merupakan teknologi baru sama sekali, karena cara pembuatannya seperti pupuk superfosfat hanya penggunaan asam yang ditambahkan tidak sebanyak dalam pembuatan superfosfat. Sampai saat ini yang banyak digunakan antara 25-50% asam dan ketersediaan P lebih tinggi dari fosfat alam tetapi lebih rendah dari superfosfat. Sedangkan kandungan P dalam PARP antara 26-36% P_2O_5 . Namun demikian kualitas pupuk PARP belum ditetapkan secara pasti. Dari proses pembuatan PARP selain menggunakan asam yang lebih rendah, kapasitas pabrik dapat ditingkatkan dan dapat digunakan bahan batuan fosfat alam yang tidak dapat dipakai untuk bahan pembuatan superfosfat. Pupuk tersebut dapat digunakan pada tanah masam (Ultisols dan Oxisols) dan sebagian Inceptisols serta pada tanah netral dengan tingkat defisiensi P yang rendah.

Peluang penggunaan fosfat alam secara langsung sebagai pupuk (DAPR)

Potensi pengembangan pertanian pada lahan kering dan sawah bukaan baru yang bersifat masam serta lahan pasang surut masih sangat besar, terutama di luar Jawa seperti di Kalimantan, Sumatera, dan Sulawesi. Kekahatan P merupakan salah satu kendala utama bagi kesuburan tanah masam. Tanah ini memerlukan P dengan takaran tinggi untuk memperbaiki kesuburan tanah dan meningkatkan produktivitas tanaman. Untuk mengatasi kendala kekahatan P umumnya menggunakan pupuk P yang mudah larut seperti TSP, SP-36, SSP, DAP. Pupuk tersebut mudah larut dalam air sehingga sebagian besar P akan segera

difiksasi oleh Al dan Fe yang terdapat di dalam tanah dan P menjadi tidak tersedia bagi tanaman. Selain itu penggunaan pupuk tersebut sangat mahal dan dengan terbatasnya subsidi pupuk maka penggunaan di tingkat petani sangat terbatas. Oleh karena itu perlu alternatif sumber pupuk P yang lain seperti fosfat alam yang harganya lebih murah dibandingkan dengan pupuk P yang mudah larut, dapat meningkatkan produktivitas tanaman dan memperbaiki kesuburan tanah. Fosfat alam merupakan sumber P yang lambat tersedia maka terjadinya fiksasi kecil sehingga pengaruh residunya cukup lama.

Fosfat alam dengan kandungan Ca setara CaO yang cukup tinggi (>40%) umumnya mempunyai reaktivitas tinggi sehingga sesuai digunakan pada tanah-tanah masam. Sebaliknya, fosfat alam dengan kandungan sesquioksida tinggi (Al_2O_3 dan Fe_2O_3) tinggi kurang sesuai digunakan pada tanah-tanah masam.

Fosfat alam dari deposit batuan sedimen sebagian besar telah mempunyai reaktivitas yang cukup memadai untuk tanaman pangan dan perkebunan. Sedangkan fosfat alam dari batuan beku mempunyai reaktivitas yang rendah sehingga perlu diasamkan dulu untuk digunakan sebagai pupuk.

Hasil penelitian penggunaan P-alam bermutu tinggi secara langsung pada tanaman perkebunan (kelapa sawit, karet dan kakao) di lahan masam dan rawa menunjukkan prospek yang baik. Efektivitas pupuk P-alam sebanding atau bahkan lebih unggul daripada pupuk TSP yang mudah larut.

Penelitian berbagai sumber dan ukuran butiran fosfat alam menunjukkan bahwa P-alam dengan kadar dan reaktivitas tinggi dengan butiran kasar (*unground*) efektif dan efisien meningkatkan hasil padi gogo dan jagung seperti TSP. Pada tanah yang tingkat pelapukan sangat lanjut, penambahan kapur meningkatkan efisiensi penggunaan P-alam.

KENDALA PENGGUNAAN FOSFAT ALAM SECARA LANGSUNG

Penggunaan fosfat alam secara langsung sebagai pupuk masih sangat terbatas. Terdapat beberapa faktor yang menghambat penggunaan fosfat alam secara langsung, antara lain sebagai berikut:

- Variasi kadar P_2O_5 dalam fosfat alam sangat besar baik dalam total maupun ketersediaannya bagi tanaman, walaupun berasal dari deposit yang sama sehingga tanggap tanaman terhadapnya juga berbeda. Selain itu kadar P_2O_5 dan unsur lain yang sangat bervariasi dapat menyulitkan dalam spesifikasi sehingga berakibat menyulitkan pengadaan, perdagangan, dan penggunaan.
- Umumnya fosfat alam yang berasal dari batuan beku dan metamorfosa mempunyai kelarutan jauh lebih rendah dari fosfat alam yang berasal dari sedimen.
- Ukuran butir fosfat alam yang halus berupa tepung dapat menyulitkan dalam penggunaan di lapangan. Saat ini diproduksi fosfat alam granular untuk memudahkan penggunaan tetapi dapat menurunkan ketersediaan hara.
- Mengandung unsur seperti logam berat dan radioisotop yang dapat membahayakan pada konsentrasi tertentu dan berakibat mencemari lingkungan setelah fosfat alam yang digunakan langsung sebagai pupuk larut dalam tanah.
- Deposit fosfat alam yang terdapat di Indonesia masih terbatas dibanding deposit fosfat alam di luar negeri.
- Fosfat alam adalah bahan baku untuk pupuk P yang ditambang dan merupakan sumber yang tidak tergantikan sehingga cadangan yang tersedia di dunia hanya akan bertahan untuk 100-120 tahun jika penambangan fosfat alam tidak dikelola dengan tepat.

UPAYA-UPAYA YANG DILAKUKAN

Dalam rangka pemanfaatan potensi fosfat alam sebagai sumber P untuk pertanian maka upaya-upaya yang perlu dilakukan, sebagai berikut:

- Meskipun petunjuk terjadi endapan fosfat yang bernilai ekonomi secara memuaskan belum ditemukan, tetapi survei dan eksplorasi deposit fosfat alam perlu dilanjutkan dengan kerjasama antara BBSDLP, Direktorat Geologi dan Mineral Departemen ESDM, LIPI, BPPT, dan Perguruan Tinggi. Selain itu survei dan eksplorasi deposit fosfat alam di Indonesia perlu dilakukan untuk meng-*update* perkiraan cadangan yang telah ditemukan.
- Walaupun telah banyak kemajuan di dalam teknologi pengembangan fosfat alam yang digunakan langsung, penelitian yang mengangkat isu peningkatan efisiensi penggunaan fosfat alam sangat diperlukan. Hal ini dapat dilakukan dengan teknologi pupuk baik secara biologi maupun kimiawi.
- Teknologi baru diperlukan untuk mengurangi biaya dan energi untuk penambangan dan penggunaan fosfat alam termasuk kegunaan/manfaat, transportasi, distribusi, dan pemasaran.
- Penggunaan fosfat alam yang tidak memenuhi standar SNI No. 02-3776-2005 secara teknis dan ekonomis akan merugikan. Oleh karena itu diperlukan pengawasan kualitas untuk (1) melindungi pengguna fosfat alam/petani dari kemungkinan praktek-praktek pemalsuan baik oleh produsen maupun pedagang pupuk; (2) menjaga kualitas fosfat alam yang digunakan dalam produksi pertanian tetap baik; (3) menjaga efektivitas; dan (4) mencegah terjadinya pencemaran lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Cathcart, J.B. 1980. World phosphate reserves and resources. *In* F.E. Khasawneh *et al.* (eds.). The Role of Phosphorus in Agriculture. SSSA., Madison, Wisconsin. USA.
- Chien, S. H. 1990. Reaction of phosphate rock with acid soils of the humid tropic. Paper Presented at Workshop on

Phosphate Sources for Acid Soils in the Humid Tropic of Asia, Kuala Lumpur.

- Chien, S. H. and L. L. Hammond. 1978. Comparison of various laboratory methods for predicting the agronomic potential of phosphate rocks for direct application. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 42: 935-939.
- Diamond. R.B. 1978. Vinson marketing of phosphate rock for direct application Proceeding of the Seminar on Phosphate Rock for Direct Application, pp. 448-463, March 20-23, Haifa, Israel.
- Engelstad, O. P., A. Jugsujinda, and S. K. De Datta 1974. Response by flooded rice to phosphate rock varying in citrat solubility. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 38: 524-529.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2004. Use of phosphate rocks for sustainable agriculture. Edited by F. Zapata and R.N. Roy. A Joint Publication of The FAO Land and Water Development Division and The International Atomic Energy Agency. Rome.
- Gary, M., R. McAfee Jr., and C. L. Walf (eds). 1974. Glossary of Geology. Amer. Geolog. Ins. Washington D.C.
- Hughes, J. C. and R. J. Gilkes. 1984. The effect of chemical extractant on the estimation of rock phosphate fertilizer dissolution. *Aust. J. Soil. Res.* 22: 475-481.
- Jordan Phosphate Mine Company. 2007. Peta Potensi Sumber Daya Geologi seluruh kabupaten di Indonesia.
- Khasawneh, F. E. and E. C. Doll. 1978. The use of phosphate rock for direct application to soils. *Adv. Agron.* 30: 159-205.
- McClellan, G. H. and L. R. Gremillon. 1980. Evaluation of phosphatic row materials. *In* F. E. Khasawneh, E. C. Sample and E. J. Kamprath (Eds). The role of phosphorus

in Agriculture. Soc. Of Amer. Soil Sci. Soc. Of Amer.
Madison, Wisconsin, USA.

Sarno Harjanto. 1986. Phosphate deposit in Indonesia. Workshop on Occurrence, Exploration and Development of Fertilizer Mineral. UNDP-ESCAP, Bangkok 1986.

Sediyarso, M., A. Sofyan, and S. Suping. 1982. Research on several P fertilizer and Mg applications on acid soil from Situng, West Sumatra. Proc. Tech. Meeting. Soil Res. Institute 3: 121 -134.

Sri Adiningsih and Sri Rochayati. 1990. Use of phosphate fertilizers in arable food crop production in Indonesia. Center for Soil and Agroclimate Research, Bogor, Indonesia.

Stowasser, W. F. 1990. Phosphate Rock, Annual Report, Bureau of Mines, U.S. Department of the Interior, Washington, D.C., U.S.A., 18 p.

Van Kauwenbergh. 2001. Overview of World Phosphate Rock Production. Paper presented at an International Meeting on Direct Application of Phosphate Rock and Related Technology: Latest Developments and Practical Experiences, July 16-20, 2001, Kuala Lumpur, Malaysia.

Yusuf, A.F. 2000. Endapat fosfat di Daerah Madura. Sub Dit. Eksplorasi Mineral Industri dan Batuan, Kolokium Hasil Kegiatan Lapangan DSM – 2000.

PENYEBARAN LAHAN MASAM, POTENSI DAN KETERSEDIAANNYA UNTUK PENGEMBANGAN PERTANIAN

Anny Mulyani, A. Rachman, dan A. Dairah

PENDAHULUAN

Potensi sumber daya lahan Indonesia cukup besar yang memiliki wilayah daratan sekitar 188,2 juta ha, terdiri atas 148 juta

lahan kering dan sisanya berupa lahan basah termasuk lahan rawa (gambut, pasang surut, lebak) dan lahan yang sudah menjadi sawah permanen. Keragaman tanah, bahan induk, fisiografi, elevasi, iklim, dan lingkungannya menjadikan sumber daya lahan yang beranekaragam, baik potensi maupun tingkat kesesuaian lahannya untuk berbagai komoditas pertanian. Variasi iklim dan curah hujan yang relatif tinggi di sebagian besar wilayah Indonesia mengakibatkan tingkat pencucian basa di dalam tanah cukup intensif, sehingga kandungan basa-basa rendah dan tanah menjadi masam (Subagyo *et al.*, 2000). Hal ini yang menyebabkan sebagian besar tanah di lahan kering bereaksi masam (pH 4,6-5,5) dan miskin unsur hara, yang umumnya terbentuk dari tanah mineral. Mulyani *et al.* (2004) telah mengidentifikasi lahan kering masam berdasarkan data sumber daya lahan eksplorasi skala 1:1.000.000, yaitu dari total lahan kering sekitar 148 juta ha dapat dikelompokkan menjadi lahan kering masam 102,8 juta ha dan lahan kering tidak masam seluas 45,2 juta ha.

Sedangkan di lahan basah, lahan masam ditemukan pada lahan sawah yang berasal dari bahan mineral berpelapukan lanjut dan pada lahan rawa terutama terdapat di lahan sulfat masam serta tanah organik (gambut). Lahan rawa di Indonesia luasnya cukup luas sekitar 33,4-39,4 juta ha (Widjaja-Adhi *et al.*, 2000), menyebar dominan di Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan Papua. Lahan rawa tersebut terdiri atas lahan rawa pasang surut 23,1 juta ha dan lahan rawa lebak 13,3 juta ha (Subagyo dan Widjaja-Adhi, 1998).

Berdasarkan uraian di atas menunjukkan bahwa sebagian besar lahan daratan Indonesia termasuk pada lahan masam, yang sebagian telah dimanfaatkan untuk memproduksi berbagai jenis komoditas pertanian, baik tanaman pangan maupun tanaman tahunan (perkebunan dan hortikultura). Ciri utama lahan masam adalah tingkat produktivitas lahannya yang rendah untuk beberapa jenis tanaman terutama tanaman pangan utama seperti padi,

jagung, kedelai, sehingga untuk meningkatkan produktivitasnya diperlukan pemupukan berimbang (pupuk organik dan anorganik), bahkan untuk meningkatkan pH tanah diperlukan pengapuran.

Makalah ini akan memberikan informasi penyebaran dan karakteristik lahan masam, potensi lahannya serta ketersediaannya untuk pengembangan pertanian di masa yang akan datang.

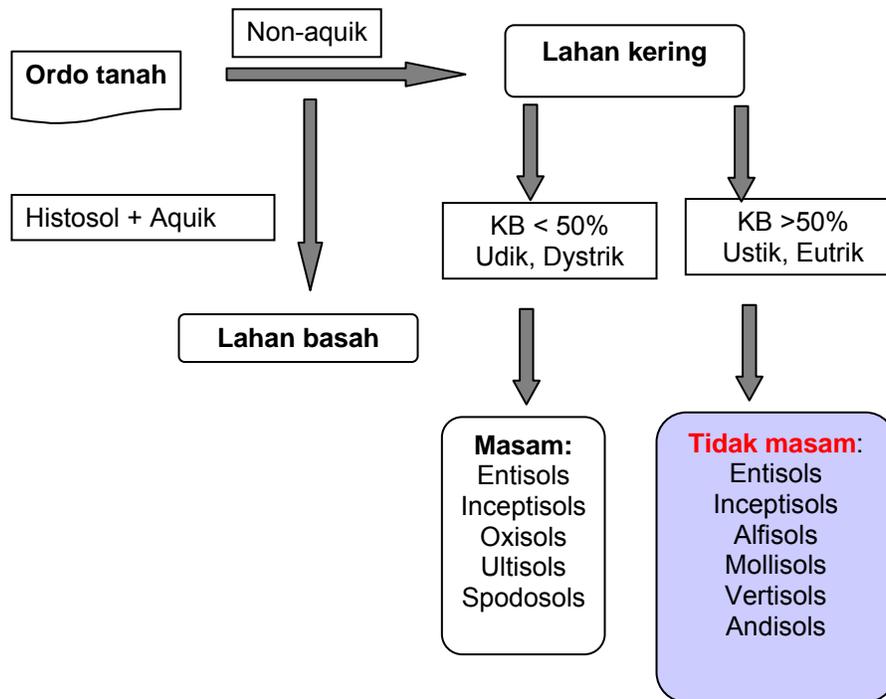
KARAKTERISTIK DAN PENYEBARAN LAHAN MASAM

1. Karakteristik dan Penyebaran Lahan Kering Masam

Secara umum, lahan kering dapat didefinisikan sebagai suatu hamparan lahan yang tidak pernah digenangi atau tergenang air pada sebagian besar waktu dalam setahun. Lahan kering masam adalah lahan yang mempunyai sifat-sifat seperti pH rendah, kapasitas tukar kation (KTK), kejenuhan basa (KB) dan C-organik rendah, kandungan aluminium (kejenuhan Al) tinggi, fiksasi P tinggi, kandungannya besi dan mangan mendekati batas meracuni tanaman, peka erosi, dan miskin unsur biotik (Adiningsih dan Sudjadi, 1993; Soepardi, 2001). Tingginya curah hujan di sebagian wilayah Indonesia menyebabkan tingkat pencucian hara tinggi terutama basa-basa, sehingga basa-basa dalam tanah akan segera tercuci keluar lingkungan tanah, yang tinggal dalam kompleks adsorpsi liat dan humus adalah ion H dan Al. Akibatnya tanah menjadi bereaksi masam dengan kejenuhan basa rendah, dan menunjukkan kejenuhan aluminium yang tinggi (Subagyo *et al.*, 2000). Selain itu, tanah-tanah yang terbentuk umumnya merupakan tanah berpenampang dalam, berwarna merah-kuning, dan mempunyai kesuburan alami yang rendah.

Untuk mengetahui luas dan penyebaran lahan masam di Indonesia, telah dilakukan pengelompokan lahan berdasarkan karakteristik tanah yang ada pada basis data Sumber Daya Tanah Eksplorasi Indonesia skala 1:1.000.000 (Puslitbangtanak, 2000), yaitu klasifikasi tanah dan fisiografi. Ordo tanah yang ditemukan di

Indonesia ada 10 yaitu Histosols, Entisols, Inceptisols, Alfisols, Mollisols, Vertisols, Ultisols, Oxisols, Andisols, dan Spodosols. Semua ordo Histosol (gambut) dan ordo tanah lainnya yang mempunyai rezim kelembapan aquik dikelompokkan menjadi lahan basah, dan sisanya menjadi lahan kering. Lahan kering dipilah lebih lanjut menjadi lahan kering masam dan non-masam, berdasarkan kemasaman tanahnya. Lahan kering bertanah masam dicirikan dengan $\text{pH} < 5,0$ dan kejenuhan basa $< 50\%$, yang tergolong pada tanah-tanah yang mempunyai sifat distrik. Sebaliknya lahan yang bertanah tidak masam adalah lahan dengan $\text{pH} > 5,0$ dan kejenuhan basa $> 50\%$, yang tergolong pada tanah-tanah yang bersifat eutrik (Hidayat dan Mulyani, 2002). Tanah-tanah yang umumnya mempunyai pH masam di lahan kering adalah ordo Entisols, Inceptisols, Ultisols, Oxisols, dan Spodosols terutama yang mempunyai iklim basah dengan curah hujan tinggi (kelembapan udik). Sedangkan lahan kering yang tidak masam umumnya terdiri atas ordo Inceptisols, Vertisols, Mollisols, Andisols, dan Alfisols, yang berada pada daerah beriklim kering (rezim kelembapan ustik). Diagram alir pemilahan lahan masam dengan non-masam disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir pemilahan lahan masam dengan non-masam

Berdasarkan Tabel 9 terlihat bahwa lahan kering masam berada pada ordo tanah Ultisols, Inceptisols, Oxisols, Entisols, dan sedikit Spodosols. Dari total lahan kering masam 102,8 juta ha, terluas terdapat pada ordo tanah Ultisols dan Inceptisols, dengan penyebarannya dominan terdapat di Sumatera, Kalimantan, dan Papua.

2. Karakteristik dan penyebaran lahan rawa masam

Lahan rawa pasang surut merupakan rawa pantai pasang surut di dekat muara sungai besar yang dipengaruhi secara langsung oleh aktivitas air laut. Pada wilayah pasang surut karena lingkungannya selalu jenuh air dan tergenang, terdapat dua jenis utama yaitu tanah mineral (*mineral soils*) jenuh air dan tanah gambut (*peat soils*).

Tabel 9. Penyebaran tanah masam berdasarkan ordo tanah

Provinsi	Entisols	Inceptisols	Oxisols	Spodosols	Ultisols	Total masam
	ha					
NAD	112.958	2.276.588	15.226		712.199	3.116.971
Sumut	137.141	2.414.939	79.789		1.524.414	4.156.283
Sumbar	55.910	1.640.205	355.113		1.224.880	3.276.108
Riau	121.416	1.897.205	465.588	16.394	2.191.601	4.692.204
Jambi	24.112	1.351.412	1.140.479		933.370	3.449.373
Sumsel	38.066	1.756.843	2.131.944		1.105.575	5.032.428
Bengkulu	24.531	894.073	16.166		705.161	1.639.931
Lampung	11.048	1.105.978	1.035.463		497.924	2.650.413
Bangka Belitung	69.933	75.179	689.306		496.405	1.330.823
Sumatera	595.115	13.412.422	5.929.074	16.394	9.391.529	29.344.534
DKI	2.854	17.567	26.352			46.773
Jabar	122.605	897.845	221.450		598.004	1.839.904
Jateng	56.752	485.015			304.238	846.005
DIY	5.107	8.161			12.241	25.509
Jatim	24.577	401.715			21.805	448.097
Banten	27.033	314.320	23.907		235.463	600.723
Jawa	238.928	2.124.623	271.709	-	1.171.751	3.807.011
Bali	4.053					4.053
NTB	11.323	3.629				14.952
NTT	22.422	35.255			25.515	83.192
Bali + NT	37.798	38.884	-	-	25.515	102.197
Kalbar	249.391	3.110.354	1.791.235	420.588	5.617.974	11.189.542
Kalteng	1.149.504	2.254.317	2.042.771	1.494.050	4.775.062	11.715.704
Kalsel	34.828	613.763	216.814		886.186	1.751.591
Kaltim	13.430	4.989.666	624.875	147.766	8.809.912	14.585.649
Kalimantan	1.447.153	10.968.100	4.675.695	2.062.404	20.089.134	39.242.486
Sulut	38.024	326.895			387.726	752.645
Sulteng	100.001	1.634.661	301.058		1.602.168	3.637.888
Sulse	52.664	1.542.379	156.824		1.529.242	3.281.109
Sultra	7.275	894.771	198.314		723.353	1.823.713
Gorontalo	15.790	8.557			1.949	26.296
Sulawesi	213.754	4.407.263	656.196	-	4.244.438	9.521.651
Maluku	23.677	1.088.814	4.033		735.127	1.851.651
Papua	1.215.695	7.882.195	2.407.728		5.753.893	17.259.511
Maluku Utara	32.731	957.386	190.049		507.906	1.688.072
Papua+Maluku	1.272.103	9.928.395	2.601.810	-	6.996.926	20.799.234
Indonesia	3.804.851	40.879.687	14.134.484	2.078.798	41.919.293	102.817.113

Sumber: Mulyani *et al.* (2004); Puslitbangtanak (2000), data diolah

Tanah mineral yang dijumpai di wilayah pasang surut terbentuk dari bahan endapan marin yang proses pengendapannya dipengaruhi air laut. Pada wilayah agak ke dalam, pengaruh sungai relatif masih kuat sehingga tanah bagian atas terbentuk dari endapan sungai sedangkan bagian bawah terdapat bahan sulfidik (pirit) dari pengendapan lumpur yang terjadi lebih dahulu. Berdasarkan tipologi lahannya, dibedakan menjadi lahan sulfat

masam potensial (SMP) dan lahan sulfat masam aktual (SMA). Lahan SMP merupakan lahan yang mempunyai bahan sulfidik (pirit) pada kedalaman 0-100 cm dari permukaan tanah, mempunyai pH > 3,5 yang makin tinggi selaras dengan kedalaman tanah. Sedangkan lahan SMA mempunyai pH tanah lapang < 3,5, mempunyai horizon sulfurik atau tanda-tanda horizon sulfurik yang disebabkan teroksidasinya pirit akibat drainase berlebihan.

Tanah gambut terbentuk dari lapukan bahan organik yang berasal dari penumpukan sisa jaringan tumbuhan pada masa lampau, dengan kedalaman bervariasi tergantung keadaan topografi tanah mineral di bawah lapisan gambut. Tingkat dekomposisi bahan organik dapat dibedakan menjadi tiga tingkatan yaitu fibrik, hemik, dan saprik. Selanjutnya lahan gambut dibedakan berdasarkan kedalamannya menjadi gambut dangkal (kedalaman 50-100 cm) dengan tingkat dekomposisi hemik sampai saprik; gambut sedang (> 100-200 cm) dengan tingkat dekomposisi hemik sampai saprik; dan gambut dalam (> 200-300 cm) dengan tingkat dekomposisi fibrik sampai hemik; dan gambut sangat dalam (> 300 cm) dengan tingkat dekomposisi fibrik sampai hemik (Widjaja-Adhi *et al.*, 2000).

Lahan gambut umumnya mempunyai tingkat kemasaman yang relatif tinggi dengan kisaran pH 3 - 5. Gambut oligotropik yang memiliki *substratum* pasir kuarsa di Berengbengel, Kalimantan Tengah memiliki kisaran pH 3,25 – 3,75 (Halim, 1987; Salampak, 1999). Sementara itu gambut di sekitar Air Sugihan Kiri, Sumatera Selatan memiliki kisaran pH yang lebih tinggi yaitu antara 4,1 - 4,3 (Hartatik *et al.*, 2004).

Berdasarkan data sumber daya tanah eksplorasi Indonesia skala 1:1.000.000 (Puslitbangnak, 2000), lahan rawa dapat dipilah menjadi rawa yang berasal dari tanah mineral dan tanah gambut, berdasarkan bahan induk, *landform* dan kombinasi tanah 1 dan 2 seperti disajikan pada Tabel 10. Dari Tabel 10 terlihat bahwa total lahan rawa sekitar 34,7 juta ha, yang berasal dari tanah mineral

seluas 22,8 juta ha dan tanah gambut sekitar 11,9 juta ha. Tanah mineral umumnya didominasi oleh Inceptisols (Endoaquepts, Sulfaquepts) dan Entisols (Hidraquepts). Sedangkan tanah gambut didominasi oleh Histosols (Haplohemist, Haplosaprists, dan Sulfihemists).

Tabel 10. Luas lahan rawa berdasarkan bahan induk, *landform* dan tanahnya

Bahan induk	<i>Landform</i>	Sub <i>landform</i>	Tanah 1	Tanah 2	Total	
					ha	
Aluvium	Aluvial	Basin aluvial (lakustrin)	Endoaquepts	Dystrudepts	89.189	
				Endoaquents	82.993	
		Dataran aluvial	Endoaquepts	Endoaquents	873.681	
			Sulfaquepts	Sulfaquents	400.238	
		Dataran aluvio-koluvial	Endoaquepts	Endoaquents	409.306	
			Jalur aliran sungai	Endoaquepts	Dystrudepts	4.608.883
					Udifuvents	3.884.093
		Rawa belakang Delta atau dataran	Endoaquepts	Sulfaquents	653.445	
			Fluvio-marin	estuarin	Endoaquepts	Sulfaquents
		Marin		Dataran pasang surut	Endoaquepts	Endoaquents
	Halaquepts		302.959			
	Hydraquents		Sulfaquents	3.200.213		
	Pesisir pantai		Udipsamments	Endoaquents	1.482.386	
Aluvium dan organik	Aluvial	Basin aluvial (lakustrin)	Endoaquepts	Haplohemists	835.590	
	Marin	Dataran pasang surut	Endoaquents	Haplohemists	2.513.207	
Organik	Gambut	Dataran gambut	Haplohemists	Sulfihemists	4.975.799	
			Haplohemists	Haplofibrists	2.751.628	
				Haplosaprists	4.183.816	
Grand total					34.780.677	

Nugroho *et al.* (1991) menyatakan bahwa lahan rawa tersebar di empat pulau besar (Tabel 11) yaitu Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan Papua dengan total luasan 33,4 juta ha atau 17% dari total luas daratan Indonesia (188,2 juta ha). Lahan rawa tersebut dibedakan berdasarkan agro-ekosistem dalam kaitannya dengan sistem hidrologi (sumber air), yaitu (1) lahan rawa pasang surut (dipengaruhi pasang surut air laut) dan (2) lahan rawa lebak (hanya dipengaruhi oleh curah hujan). Dataran

lahan rawa pasang surut meliputi areal seluas 20,11 juta ha, dan lahan rawa lebak seluas 13,29 juta ha. Lahan rawa pasang surut dibedakan menjadi lahan potensial yang relatif tidak mempunyai masalah keheraan (2,07 juta ha), lahan sulfat masam (6,71 juta ha), lahan gambut (10,89 juta ha) dan lahan salin (0,44 juta ha). Sedangkan lahan rawa lebak terdiri atas lebak dangkal (4,17 juta ha), lebak tengahan (6,08 juta ha), dan lebak dalam (3,04 juta ha).

Tabel 11. Perkiraan luas berbagai lahan rawa di Indonesia

Provinsi	Total ha	Potensi lahan untuk pertanian ha ¹⁾	Tanah gambut	Tanah		Rawa lebak
				mineral	sulfat masam	
Sumatera	9.390.000	1.400.000	6565000*	1.806.000	1806000	2.786.000
Kalimantan	11.707.400	1.400.000	5769246*	3.452.100	3452100	3.580.500
Papua	10.552.710	2.800.000	1284250	2.932.690	2932690	6.305.770
Sulawesi	1.793.450	Tidak ada data	145500	1.039.450	1039450	608.500
Indonesia	33.413.560	20.132.790	10.902.550	9.230.240	4.343.980	13.280.770

* Sumber: Nugroho *et al.* (1991) dan Wahjuntjo *et al.* (2005);
1) Potensi lahan yang diperkirakan sesuai untuk usaha pertanian

POTENSI LAHAN MASAM

1. Potensi Lahan Kering Masam

Berdasarkan Atlas Sumber Daya Tanah Eksplorasi Indonesia pada skala 1:1.000.000 (Puslitbangtanak, 2000) telah dilakukan pemilahan lahan kering berdasarkan kemasaman tanahnya, sehingga diperoleh penyebaran dan luas lahan kering masam seluas 102,8 juta ha. Untuk mengetahui potensi lahan kering masam untuk pengembangan pertanian, telah dilakukan evaluasi (tumpang tepat) antara peta lahan kering masam dengan Peta Arah Tata Ruang Pertanian Nasional pada skala eksplorasi (Puslitbangtanak, 2001). Dalam arahan tata ruang tersebut, kelompok tanaman yang dapat dikembangkan di lahan kering dipilah berdasarkan tanaman semusim dan tanaman tahunan/ perkebunan yang sesuai di daerah beriklim basah dan beriklim kering, serta pada wilayah dataran rendah dan dataran tinggi.

Hasil penilaian dan arahan penggunaan lahan kering masam di masing-masing provinsi disajikan pada Tabel 12. Tabel 11 menunjukkan bahwa dari total luas tanah masam sekitar 102,8 juta ha, hanya sekitar 56,0 juta ha yang sesuai untuk pengembangan pertanian, sisanya termasuk lahan yang tidak sesuai dan diarahkan menjadi kawasan khusus (kawasan lindung seperti hutan sempadan sungai, hutan konservasi, dll). Pada lahan kering, sifat kimia tanah tersebut umumnya tidak dijadikan faktor pembatas karena dengan *input* teknologi pemupukan kendala tersebut dapat diatasi. Oleh karena itu, lahan yang tidak sesuai seluas sekitar 46,8 juta ha umumnya karena faktor pembatas lereng (> 30-40%), solum dangkal dan banyaknya batuan di permukaan. Dari lahan yang tidak sesuai sekitar 46,8 juta ha, sekitar 31,2 juta ha merupakan daerah bergunung dengan lereng >30% (Mulyani *et al.*, 2004). Dan pada wilayah bergunung ini banyak dijumpai tanah-tanah yang bersolum dangkal dan kandungan batuan di permukaan > 50%. Lahan-lahan tersebut diarahkan untuk kawasan hutan, meskipun kenyataannya di lapangan sebagian ada yang tetap diusahakan untuk usaha pertanian (termasuk usaha tani tanaman pangan), yang umumnya tanpa menerapkan teknologi konservasi dan air, sehingga lahan tersebut umumnya sudah terdegradasi.

Dari Tabel 11 terlihat bahwa lahan kering masam yang sesuai untuk tanaman pangan semusim di dataran rendah (palawija, sayuran dan buah-buahan semusim) seluas 18,3 juta ha, terluas terdapat di Kalimantan, Sumatera, dan Papua. Sedangkan lahan kering masam yang sesuai untuk tanaman tahunan seluas 33,6 juta ha, terluas terdapat di Sumatera, Kalimantan, dan Papua. Lahan yang sesuai tersebut dominan terdapat di kawasan yang beriklim basah, sedangkan kawasan yang sesuai di lahan kering dataran rendah iklim kering hanya sedikit yaitu 182.902 ha untuk tanaman pangan dan 671.736 ha untuk tanaman tahunan, terluas terdapat di NTT, Sulawesi,

Maluku, dan Papua. Untuk kawasan yang berada di dataran tinggi (> 700 m dpl), sebagian besar beriklim basah yaitu 1 juta ha sesuai untuk tanaman pangan dan 2 juta ha sesuai untuk tanaman tahunan. Sedangkan kawasan yang berada di dataran tinggi beriklim kering, hanya sesuai untuk tanaman tahunan, yaitu 60.752 ha.

Tabel 12. Potensi lahan kering masam untuk pertanian tanaman semusim dan tahunan

Provinsi	Dataran rendah					Dataran tinggi			Jumlah
	Iklim basah		Iklim kering			Iklim basah		Iklim kering	
	TP	TT	TP	TT	Ternak	TP	TT	TT	
NAD	20,472	698,520	41,787	124,751	10,741		191,900		1,088,171
Sumut	277,623	1,741,164			126,022	87,281	82,789	43,898	2,358,777
Sumbar	106,276	1,006,729				20,889	54,687		1,188,581
Riau	380,636	3,396,423							3,777,059
Jambi	811,608	1,636,906				37,492	52,820		2,538,826
Sumsel	1,635,519	2,160,283				27,065	66,964		3,889,831
Bengkulu	166,493	595,602				12,716	28,217		803,028
Lampung	912,609	687,121		18,158		12,624	67,760		1,698,272
BangkaBelitung		1,147,365							1,147,365
Sumatera	4,311,236	13,070,113	41,787	142,909	136,763	198,067	545,137	43,898	18,489,910
DKI	7,404	18							7,422
Jabar	164,925	621,033		7		113,093	73,968		973,026
Jateng		394,940		2,730		10,051	48,526		456,247
DIY		21,185							21,185
Jatim		159,063		53,016			34,660	16,840	263,579
Banten	19,801	308,412					6,959		335,172
Jawa	192,130	1,504,651	0	62,746	0	123,144	164,113	16,840	2,063,624
Bali				30					30
NTB		155							155
NTT			3,728	1,826		3,046			8,600
Bali+NT	-	155	3,728	1,856	0	3,046	-	0	8,785
Kalbar	2,678,363	4,112,591				26,911	16,267		6,834,132
Kalteng	1,500,146	4,572,399				70,677	79,845		6,223,067
Kalsel	886,355	631,837				2,285			1,520,477
Kaltim	4,622,804	3,062,196				492,225	229,556		8,406,781
Kalimantan	9,687,668	12,379,023	0	0	0	592,098	325,668	0	22,984,457
Sulut		480,441				32,027	36,171		548,639
Sulteng	1,429	564,077	4,910	57,213		38,734	223,218		889,581
Sulsel	15,595	454,721		19,767			583,948		1,074,031
Sultra		301,852	29,950	103,176			3,143		438,121
Gorontalo		2,224	5,097	1,020					8,341
Sulawesi	17,024	1,803,315	39,957	181,176	0	70,761	846,480	0	2,958,713
Maluku		482,827		41,247		71	62,341	14	586,500
Papua	4,074,171	3,872,551		43,485		30,389	73,329		8,093,925
Maluku Utara		505,906	97,430	198,317		10	10,918		812,581
Papua+Maluku	4,074,171	4,861,284	97,430	283,049	0	30,470	146,588	14	9,493,006
Indonesia	18,282,229	33,618,541	182,902	671,736	136,763	1,017,586	2,027,986	60,752	55,998,495

2. Potensi Lahan Rawa

Berdasarkan data sumber daya tanah eksplorasi Indonesia skala 1:1.000.000 (Puslitbangtanak, 2000), lahan rawa dapat dipilah menjadi tanah yang berasal dari bahan mineral dan tanah dari bahan induk gambut, seperti disajikan pada Tabel 9 di atas. Untuk mengetahui berapa luas lahan rawa yang sesuai untuk budi daya pertanian, telah dilakukan tumpang tepat (*overlayed*) antara peta sumber daya tanah eksplorasi dengan peta arahan tata ruang pertanian nasional skala 1:1000.000 (Puslitbangtanak, 2001). Hasilnya menunjukkan bahwa dari total lahan rawa sekitar 34,7 juta ha, sekitar 24,8 juta ha yang sesuai untuk budi daya pertanian, yang terdiri atas lahan yang sesuai untuk pengembangan lahan sawah 13,2 juta ha, lahan kering semusim 244.096 ha, tanaman tahunan seluas 4,8 juta ha, dan untuk *mangrove* (perikanan air payau/tambak) seluas 6,6 juta ha (Tabel 13). Apabila dipilah lebih lanjut, dari 24,8 juta ha ternyata lahan yang sesuai untuk budi daya pertanian tersebut umumnya berada pada lahan mineral yaitu sekitar 20,1 juta ha dan sisanya 4,7 juta ha berada di lahan gambut, yaitu 443.232 ha untuk padi sawah, 59.237 ha untuk tanaman semusim (palawija dan sayuran), dan 4,0 juta ha untuk tanaman tahunan/perkebunan, serta 115.769 ha untuk pengembangan *mangrove*/perikanan air payau.

KETERSEDIAAN LAHAN DAN PELUANG PERLUASAN AREAL PERTANIAN

1. Ketersediaan Lahan

Untuk mengetahui luas lahan yang masih tersedia untuk perluasan areal pertanian dapat dideteksi dengan memperkirakan lahan-lahan sesuai yang saat ini belum dimanfaatkan untuk usaha apapun (lahan terlantar/lahan tidur), yaitu dengan cara menumpangtepatkan antara peta arahan tata ruang pertanian

(Puslitbangtanak, 2001) dengan peta penggunaan lahan (BPN, 2000-2004). Hasilnya menunjukkan bahwa terdapat lahan yang sesuai untuk pengembangan pertanian dimana saat ini berupa semak belukar atau rerumputan, yaitu seluas 30,7 juta ha. Dari luasan tersebut, lahan yang tersedia untuk perluasan areal di lahan basah (sawah) seluas 8,3 juta ha, terdiri atas 3 juta ha di lahan rawa, dengan penyebaran terluas terdapat di Papua, Kalimantan dan Sumatera, serta di lahan non-rawa seluas 5,3 juta ha terluas di Papua, Kalimantan, dan Sumatera (Tabel 14).

Tabel 13. Potensi lahan rawa untuk budi daya pertanian

Provinsi	Total Lahan rawa	Lahan yang sesuai untuk				Jumlah ha
		Padi Sawah	Tanaman semusim	Tanaman tahunan	Mangrove/tambak	
NAD	997,007	466,141	0	173,248	122,210	761.599
Sumut	1,080,930	570,311	0	195,651	239,144	1,005.106
Sumbar	552,793	344,701	0	106,388	324	451.413
Riau	5,068,422	773,399	0	1,146,781	440,791	2,360.971
Jambi	1,299,314	557,878	0	200,704	51,115	809.697
Sumsel	3,341,663	1,555,698	184,894	184,970	486,953	2,412.515
Bengkulu	172,003	110,687	0	44,507	3,137	158.331
Lampung	544,305	410,177	0	8,685	71,496	490.358
Bangka						
Belitung	343,561	106,629	0	116,066	76,344	299.039
DKI	40,667	11,267	0	30	571	11.868
Jabar	544,953	434,886	0	50,426	17,993	503.305
Jateng	273,577	189,998	0	44,609	29,237	263.844
DIY	20,053	16,608	0	3,075	0	19.683
Jatim	129,241	34,200	0	34,508	58,309	127.017
Banten	146,434	98,301	0	21,141	0	119.442
Bali	6,754	0	0	49	0	49
NTB	1,896	0	0	0	0	0
NTT	62,417	41,662	0	3,044	17,711	62.417
Kalbar	3,105,130	547,598	0	832,501	603,412	1,983.511
Kalteng	3,546,064	1,096,983	0	693,800	340,361	2,131.144
Kalsel	1,175,678	844,741	0	108,298	36,949	989.988
Kaltim	2,028,300	401,605	0	38,161	592,700	1,032.466
Sulut	133,444	98,062	0	0	33,245	131.307
Sulteng	468,113	365,805	0	19,635	52,562	438.002
Sulsel	493,654	341,892	0	8,276	132,181	482.349
Sultra	323,409	153,594	59,202	0	108,803	321.599
Gorontalo	72,167	41,676	0	0	21,174	62.850
Maluku	474,513	202,136	0	16,033	177,212	395.381
Papua	8,198,048	3,324,066	0	713,616	2,858,045	6,895.727
Maluku Utara	136,167	66,698	0	3,980	56,311	126.989
Indonesia	34,780,677	13,207,399	244,096	4,766,111	6,630,361	24,847.967

Sumber: Puslitbangtanak (2000) dan Puslitbangtanak (2001), data diolah

Tabel 14. Rincian lahan potensial tersedia untuk perluasan areal pertanian di lahan rawa dan lahan kering

Pulau/ Provinsi	LB-semusim			LK- semusim*)	LK- tahunan**)	Total
	Rawa	Non-rawa	Total			
	ha					
NAD	3,660	64,601	68,261	282,109	431,293	781,663
Sumut	6,700	68,800	75,500	429,751	141,972	647,223
Riau	46,400	139,700	186,000	252,980	896,245	1,335,225
Sumbar	39,352	70,695	110,047	55,118	310,611	475,776
Jambi	40,500	156,600	197,000	177,341	258,997	633,338
Sumsel	195,742	39,650	235,393	307,225	424,846	967,464
Babel	0	25,807	25,807	-	225,470	251,277
Bengkulu	0	22,840	22,840	88,078	209,105	320,023
Lampung	22,500	17,500	40,000	26,398	21,021	87,419
Sumatera	354,854	606,193	960,847	1,311,776	3,226,785	5,499,407
DKI Jakarta	0	0	0	0	0	0
Banten	0	1,488	1,488	311	54,757	56,557
Jabar	0	7,447	7,447	4,873	48,090	60,410
Jateng	-	1,302	1,302	8,966	20,654	30,922
DIY	0	-	-	-	-	-
Jatim	0	4,156	4,156	26,394	35,451	66,001
Jawa	0	14,393	14,393	40,544	158,953	213,890
Bali	0	14,093	14,093	-	-	14,093
NTB	0	6,247	6,247	137,659	80,628	224,534
NTT	0	28,583	28,583	-	529,537	558,119
Bali dan NT	0	48,922	48,922	137,659	610,165	796,746
Kalbar	174,279	8,819	183,098	856,368	1,770,109	2,809,575
Kalteng	177,194	469,203	646,397	401,980	2,661,510	3,709,888
Kalsel	211,410	123,271	334,681	494,791	409,101	1,238,573
Kaltim	167,276	64,487	231,763	1,886,264	2,431,329	4,549,355
Kalimantan	730,160	665,779	1,395,939	3,639,403	7,272,049	12,307,390
Sulut	0	26,367	26,367	5,091	133,135	164,592
Gorontalo	0	20,257	20,257	-	-	20,257
Sulteng	0	191,825	191,825	47,219	95,484	334,527
Sulse	0	63,403	63,403	69,725	266,045	399,172
Sultra	0	121,122	121,122	93,417	106,518	321,056
Sulawesi	0	422,972	422,972	215,452	601,180	1,239,604
Papua	1,893,366	3,293,634	5,187,000	1,688,587	2,790,112	9,665,699
Maluku	0	121,680	121,680	-	440,381	562,061
Maluku Utara	0	124,020	124,020	50,391	210,480	384,890
Maluku+Papua	1,893,366	3,539,334	5,432,700	1,738,978	3,440,973	10,612,651
Indonesia	2,978,380	5,297,593	8,275,773	7,083,811	15,310,104	30,669,688

Sumber: Badan Litbang Pertanian (2007); BBSDLP (2008)

Sedangkan lahan tersedia di lahan kering sekitar 22,4 juta ha yang terdiri atas lahan yang sesuai untuk tanaman semusim sekitar 7,1 juta ha dan untuk tanaman tahunan seluas 15,3 juta ha

(Tabel 14). Lahan tersedia di lahan kering merupakan lahan kering total yang tidak memisahkan antara lahan kering masam ataupun lahan kering non-masam. Dari 30,7 juta ha lahan yang belum dimanfaatkan (lahan terlantar), sekitar 10,3 juta ha berada di kawasan budi daya pertanian dan 20,4 juta ha berada di kawasan budi daya kehutanan (hutan produksi dan HPH).

b. Permasalahan dan Peluang Pengembangan

Dalam pengembangan komoditas pertanian di suatu wilayah, akan menghadapi berbagai permasalahan teknis di tanah masam lahan kering yaitu berupa rendahnya tingkat kesuburan tanah dan ketersediaan air pada musim kemarau. Tanah masam umumnya dicirikan oleh sifat reaksi tanah masam (pH rendah) yang berkaitan dengan kadar Al tinggi, fiksasi P tinggi, kandungan basa-basa dapat tukar rendah, kandungan besi dan mangan yang mendekati batas meracuni, peka erosi, miskin elemen biotik (Soepardi, 2001; Adiningsih *et al.*, 2000). Kendala tersebut memang relatif lebih mudah diatasi dengan teknologi pemupukan, pengapuran, serta pengelolaan bahan organik.

Seperti telah disebutkan di atas, total tanah mineral masam sangat luas penyebarannya yaitu sekitar 102 juta ha, terluas terdapat di Sumatera, Kalimantan, dan Papua. Dengan kendala biofisik yang telah disebutkan di atas, peluang pengembangan pertanian di tanah masam ini masih besar. Soepardi (2001) mengemukakan bahwa tidak terlalu sulit untuk membenahi tanah masam sehingga menjadi baik, aman dan siap tanam untuk usaha tani yang menguntungkan dan berkelanjutan. Kendala ini dapat ditangkal dengan menerapkan teknologi pengapuran yang dilanjutkan dengan perawatan, dan pemilihan jenis tanaman yang cocok pada kondisi tersebut. Jumlah kapur yang diberikan disesuaikan dengan kebutuhan tiap jenis tanah, dan jenis tanaman yang akan diusahakan dapat berfungsi (1) meredam (*alleviate*) reaksi masam tanah untuk waktu lama dan

mengubahnya menjadi tidak masam; (2) menyingkirkan bahaya keracunan Al (tanda keracunan Al, akar membengkak, gagal berkembang dengan baik, dan kehilangan daya serap air dan hara); (3) meradam bahaya keracunan besi, mangan, dan anasir senyawa organik; (4) menurunkan daya fiksasi P sekaligus membebaskan P yang semula diikat kuat; (5) meningkatkan ketersediaan basa; (6) memperlancar serapan unsur hara dari tanah; dan (7) meningkatkan respon tanaman terhadap upaya pemupukan dan budi daya lainnya. Selain itu, Adiningsih dan Sudjadi (1993) menambahkan bahwa tanah masam dapat ditingkatkan produktivitasnya dengan pemupukan, pengapuran dan pengelolaan bahan organik (*alley cropping*).

Pendapat tersebut di atas memang tidak sulit dilaksanakan bagi petani yang mempunyai kemampuan teknis maupun non-teknis (modal cukup) serta pengetahuan yang sudah maju, sedangkan kondisi petani kita pada umumnya berada pada kondisi yang kurang mampu dan tidak cukup modal untuk menerapkan teknologi tersebut, sehingga tanah akan tetap masam dan produktivitas tanah rendah, dan akibatnya produksi pertanian sulit ditingkatkan. Kondisi ini berlaku untuk wilayah yang dominan usaha taninya adalah berbasis tanaman pangan, tetapi pada wilayah yang berbasis tanaman perkebunan (kelapa sawit atau karet), khususnya perkebunan negara kendala tersebut mungkin dapat teratasi. Sedangkan untuk perkebunan rakyat dan sebagian perkebunan swasta, perbaikan kualitas lahan ini (pemupukan dan pengapuran) kurang diperhatikan, hal ini terlihat dari produksi kelapa sawit yang jauh berbeda antara perkebunan negara dengan perkebunan rakyat/swasta yaitu $2,69 \text{ t ha}^{-1}$ untuk perkebunan rakyat, $4,59 \text{ t ha}^{-1}$ untuk perkebunan negara, dan $2,87 \text{ t ha}^{-1}$ untuk perkebunan swasta (Ditjen Perkebunan, 2002). Dari kasus ini terlihat, bahwa ternyata tidak hanya dalam usaha tani tanaman pangan saja masalah ini menjadi kendala, bahkan pada

tanaman perkebunanpun umumnya demikian, usaha peningkatan produktivitas lahan belum optimal.

Belajar dari keberhasilan beberapa sentra produksi komoditas pertanian di beberapa wilayah tanah masam ini, seperti lada di Bangka/Belitung untuk lada, Lampung untuk palawija (ubi kayu, jagung), Kalbar (lada dan jagung, Gambar 2) yang umumnya diusahakan pada tanah masam, umumnya dapat berproduksi baik dan dapat bertahan dalam beberapa dekade terakhir. Keberhasilan usaha tani jagung di Kecamatan Sanggoledo, Kalbar, yang mampu memproduksi jagung 70 t hari^{-1} dan dapat berproduksi sepanjang tahun untuk memasok beberapa pabrik pakan ternak di Singkawang, dari luasan total 8.000 ha lahan masam yang ditanam secara bergantian. Kedua ilustrasi tersebut mengindikasikan bahwa tanah masam yang cukup luas ini sebetulnya sangat berpotensi untuk memproduksi berbagai komoditas pertanian (pangan, hortikultura, dan tanaman tahunan/perkebunan) dengan sedikit sentuhan teknologi pengelolaan lahan baik itu pengelolaan secara teknis maupun non-teknis (kelembagaan).

Sedangkan untuk masalah kekurangan air pada musim-musim tertentu, saat ini memang belum banyak yang dapat dilakukan petani, bahkan peran pemerintah untuk penyediaan irigasi di lahan kering masih belum terlihat. Pada umumnya petani lebih sering memberakan lahannya pada musim kemarau, kecuali pada beberapa wilayah sentra produksi yang telah lebih maju pertaniannya, telah ada usaha untuk menggunakan air permukaan ataupun air dalam dengan pompanisasi.

Demikian pula di lahan rawa, meskipun terdapat kendala dan permasalahan biofisik lahan, namun dengan terobosan inovasi pengelolaan lahan rawa, maka lahan rawa dapat dimanfaatkan secara optimal (Gambar 2).



b



a



c



d

Gambar 2. Pemanfaatan lahan kering masam (a dan b) dan lahan rawa (c dan d) untuk berbagai komoditas pertanian

PENUTUP

Sebagian besar iklim di Indonesia termasuk pada iklim basah yang mempunyai curah hujan tinggi, mengakibatkan tingkat pencucian basa di dalam tanah cukup intensif, sehingga kandungan basa-basa rendah dan tanah menjadi masam. Lahan kering masam cukup luas sekitar 102 juta ha dan sekitar 56,3 juta ha diantaranya adalah lahan yang sesuai untuk usaha pertanian (pada wilayah datar-berbukit dengan lereng <30%). Sedangkan lahan rawa yang umumnya bersifat masam (rawa pasang surut, lebak dan gambut) dari luasan 34,7 juta ha, diantaranya sekitar 24,8 juta ha termasuk lahan yang sesuai untuk budi daya pertanian. Namun, sebagian besar lahan sesuai tersebut telah dimanfaatkan untuk usaha berbagai sektor baik sektor pertanian maupun non pertanian. Berdasarkan hasil identifikasi terhadap lahan yang belum dimanfaatkan (lahan terlantar), terdapat sekitar 30,7 juta ha lahan terlantar baik yang ada di kawasan budi daya pertanian (10,3 juta ha) maupun budi daya kehutanan (20,4 juta ha). Lahan ini ke depan akan bersaing pemanfaatannya untuk berbagai kepentingan baik untuk pertanian maupun non-pertanian, sehingga makin terbatas ketersediaannya. Lahan subur sebagian besar telah dimanfaatkan, sehingga yang tersisa untuk pengembangan ke depan adalah lahan sub optimal atau marginal (lahan kering masam dan rawa). Oleh karena itu, dalam pemanfaatannya perlu didukung oleh teknologi pengelolaan sumber daya lahan seperti benih unggul tahan masam di lahan kering dan rawa, pemupukan berimbang, penyediaan irigasi suplementer untuk lahan kering dan pengaturan drainase untuk lahan rawa, konservasi tanah dan air untuk lahan berlereng.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, J. dan M. Sudjadi. 1993. Peranan sistem bertanam lorong (*Alley cropping*) dalam meningkatkan kesuburan tanah pada lahan kering masam. Risalah Seminar, Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor (Tidak dipublikasikan).
- Badan Litbang Pertanian. 2007. Prospek dan Arah Pengembangan Komoditas Pertanian: Tinjauan Aspek Sumber daya Lahan. Badan Litbang Pertanian, Jakarta.
- BBSDLP. 2008. Policy Brief Keragaan dan Ketersediaan Sumber Daya Lahan untuk Pembangunan Pertanian. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber daya Lahan Pertanian, Bogor.
- Dirjen Perkebunan. 2002. Statistik Perkebunan Indonesia 2000-2002. Direktorat Jenderal Bina Produksi Perkebunan, Jakarta.
- Hidayat, A. dan A. Mulyani. 2002. Lahan kering untuk pertanian. Hlm. 1-34 *dalam* Abdurachman *et al.* (Ed.). Buku Pengelolaan Lahan Kering Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Mulyani, A., Hikmatullah, dan H. Subagyo. 2004. Karakteristik dan potensi tanah masam lahan kering di Indonesia. hlm. 1-32 *dalam* Prosiding Simposium Nasional Pendayagunaan Tanah Masam. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Nugroho, K., Alkasuma, Paidi, W. Wahdini, Abdurachman, H. Suhardjo, dan I P.G. Widjaja-Adhi. 1991. Laporan Akhir. Penentuan Areal Potensial Lahan Pasang Surut, Rawa, dan Pantai skala 1:500.000. Laporan Teknik No. 1/PSRP/1991. Proyek penelitian Sumber daya Lahan, Puslittanah dan Agroklimat, Bogor.

- Puslitbangtanak. 2000. Atlas Sumber Daya Tanah Eksplorasi Indonesia. Skala 1:1.000.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Puslitbangtanak. 2001. Atlas Arahana Tata Ruang Pertanian Indonesia. Skala 1:1.000.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Soepardi, H. G. 2001. Strategi usahatani agribisnis berbasis sumber daya lahan. hlm. 35-52 *dalam* Prosiding Nasional Pengelolaan Sumber daya Lahan dan Pupuk Buku I. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Subagyo, H. dan I PG. Widjaja-Adhi. 1998. Peluang dan kendala pembangunan lahan rawa untuk pengembangan pertanian di Indonesia. hlm. 13-50 *dalam* Prosiding Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat: Makalah Utama. Bogor, 10-12 Februari 1998. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Subagyo, H., Nata Suharta, dan Agus. B. Siswanto. 2000. Tanah-tanah pertanian di Indonesia. hlm. 21-66 *dalam* Buku Sumber daya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Wahjunto, Sofyan Ritung, Suparto, dan H. Subagyo. 2005. Sebaran gambut dan kandungan karbon di Sumatera dan Kalimantan. Proyek Climate Change, Forest and Peatlands in Indonesia. Wetlands International – Indonesia Programme dan Wildlife habitat Canada. Bogor. Xxiii+254 hlm.
- Widjaja-Adhi, I P.G., D.A. Suriadikarta, M.T. Sutriadi, I G.M. Subiksa, and I W. Suastika. 2000. Pengelolaan pemanfaatan dan pengembangan lahan rawa. hlm. 127-164 *dalam* Buku Sumber Daya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.

PEMANFAATAN FOSFAT ALAM UNTUK LAHAN KERING MASAM

Sri Rochayati, Mas Teddy Sutriadi, dan A. Kasno

PENDAHULUAN

Perkembangan tanaman perkebunan utama di Indonesia cukup pesat. Luas perkebunan kelapa sawit meningkat dari 4.158 ribu ha pada tahun 2000 menjadi 7.008 ribu ha atau 69%, kakao meningkat dari 750 ribu ha pada tahun 2000 menjadi 1.473 ribu ha tahun 2008 atau 96%, tebu meningkat dari 341 ribu ha tahun 2000 menjadi 439 juta ha tahun 2008 atau 29%. Luas tanaman kapas meningkat dari 12 ribu ha pada tahun 2000 menjadi 16 ribu ha atau 39%, sedangkan tanaman cengkih, kayu manis, kopi, karet dan tembakau masing-masing meningkat 9, 5, 3, dan 2%. Sedangkan tanaman tembakau, teh dan kelapa hibrida menurun masing-masing 15, 16, dan 28%.

Hara P dalam tanaman perkebunan telah digunakan sejak tahun 1970, diberikan dalam bentuk TSP, SP-36, dan fosfat alam. Areal tanaman perkebunan lebih berkembang di luar Pulau Jawa. Lahan kering di luar Jawa didominasi oleh tanah yang bersifat masam, seperti Ultisol dan Oxisol. Tanah masam yang sesuai untuk tanaman pangan dan tahunan adalah seluas 51,8 juta ha (Mulyani *et al.*, 2004). Lahan di Kalimantan Barat yang diarahkan untuk ekstensifikasi tanaman perkebunan seperti kelapa sawit, karet, kelapa, lada dan kopi seluas 3,098 juta ha (Hikmatullah *et al.*, 2008). Tanaman kelapa sawit banyak berkembang pada tanah gambut.

Tanaman Kelapa Sawit

Pertumbuhan tanaman kelapa sawit yang baik membutuhkan solum tanah relatif dalam (> 60 cm) untuk mendukung perkembangan akar. Tanaman kelapa sawit berkembang cukup

baik pada tanah yang mengandung hara P > 20 mg kg⁻¹, 0,3 cmol kg⁻¹ K, 2 cmol kg⁻¹ Ca, dan 0,3 cmol kg⁻¹ Mg, serta kejenuhan Al <30% (Dierolf *et al.*, 2000). Jumlah P yang diserap tanaman kelapa sawit digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam penentuan kebutuhan P. Tanaman kelapa sawit respon terhadap pemupukan P apabila jumlah P tersedia dalam tanah kurang dari 15 mg kg⁻¹ terekstrak Bray II (Rankine dan Fairhurst, 1999). Hasil analisis tanah belum banyak digunakan dan dimanfaatkan untuk menyusun rekomendasi pemupukan. Tanah Spodosol Kutai Kertanegara disarankan dilokalisir untuk hutan lindung Prasetyo *et al.* (2006).

Nilai baku hara P daun tanaman kelapa sawit ke-17 digunakan sebagai acuan dalam menentukan rekomendasi pupuk P. Nilai baku menurun dengan bertambahnya umur kelapa sawit, hal ini seolah-olah kebutuhan pupuk P semakin menurun. Namun dengan semakin meningkatnya jumlah serapan hara P dengan bertambahnya umur, maka jumlah hara P yang dibutuhkan juga meningkat (Tabel 15).

Tabel 15. Baku hara P daun pada tanaman kelapa sawit pada pelepah daun ke-17

Asia Tenggara ^A		Indonesia ^B	
Umur	P-daun	Umur	P-daun
tahun		tahun	
1 - 3	0,170 – 0,190	3 – 5	0,160 – 0,165
4 – 9	0,160 – 0,170	5 – 10	0,150 – 0,155
10 – 15	0,155 – 0,165	>10	0,150 – 0,155
16 – 20	0,150 – 0,155		-
20 – 25	0,140 – 0,150		-

A Ng, SK, 1986

B Pusat Penelitian Marihat, 19..

Pupuk fosfat alam berpengaruh sama dengan pupuk TSP terhadap tinggi tanaman, jumlah helai daun, lingkaran batang, berat tanaman dan akar kering pembibitan kelapa sawit setelah 32

minggu (Khaswarina, 2001). Pupuk P-alam Ogun (ORP/30% P₂O₅), dan campuran P-alam Crystallir/CRYS-talc dan Sokoto/SRP (21% P₂O₅) berpengaruh sama dengan pupuk SSP (18% P₂O₅) pada Plinthic Tropudalf untuk lingkaran batang, sedang pada Rhodic Paleudalf pupuk ORP dan CRYS+SRP berpengaruh sama terhadap lingkaran batang namun lingkaran batang lebih besar dibandingkan pemupukan dengan SSP (Akinrinde *et al.*, 2006).

Menurut Chan *et al.* (1987) menyatakan bahwa anjuran pupuk untuk bibit kelapa sawit adalah 386,1-457,8 kg P₂O₅ ha⁻¹ (11.000-13.000 bibit), tanaman belum menghasilkan (0-3 tahun) 118-212,6 kg P₂O₅ ha⁻¹, tanaman menghasilkan atau mulai umur 3 – 25 tahun berkisar 47,2–94,2 kg P₂O₅ ha⁻¹ tahun⁻¹ atau setara dengan 235–270 kg P-alam atau 2-3 kg P-alam/pohon/tahun yang diberikan sekali setahun. Pemberian pupuk fosfat alam dengan takaran 3 kg/pohon/tahun nyata meningkatkan produksi tandan dan kandungan hara P daun (Martoyo *et al.*, 1987).

Pemupukan P nyata meningkatkan produksi tandan buah segar, peningkatan takaran P-alam terlihat masih meningkatkan produksi tandan buah segar. Dengan demikian mungkin penambahan takaran masih dapat meningkatkan produksi tandan buah segar atau takaran optimum akan dicapai apabila takaran P-alam ditambah.

Tabel 16. Pengaruh pupuk fosfat alam terhadap produksi kelapa sawit pada percobaan di kebun Perlabian berdasarkan umur tanaman

Taakaran pupuk P-alam kg/pohon/tahun	Produksi tandan buah segar pada umur				
	4 tahun	5 tahun	6 tahun	7 tahun	8 tahun
	t ha tahun ⁻¹				
0	9,7 (100)	12,1 (100)	13,2 (100)	11,3 (100)	16,1 (100)
1	11,6 (120)	18,1 (150)	22,0 (167)	21,6 (191)	25,9 (162)
2	12,5 (129)	19,5 (162)	24,0 (182)	24,2 (214)	27,8 (173)

Keterangan: (.....) persentase terhadap takaran 0
 Sumber: Pamin *et al.* (1997)

Pemupukan kelapa sawit pada tanah dekat pantai dengan P-alam menunjukkan bahwa takaran pupuk P-alam optimum adalah 3 kg pohon^{-1} , pupuk TPR = TSP > JPR > NCPR > CPR > CIRP (Nasir *et al.*, 2005). Pada tanah yang jauh dari pantai, penambahan pupuk P secara linier meningkatkan produksi kelapa sawit, pada takaran $4,5 \text{ kg/pohon}$ P-alam JPR > CIRP > NCPR > TPR > TSP > CPR. Berat kering tanaman pada pembibitan kelapa sawit tertinggi diperoleh pada pemupukan P-alam Maroco, namun tidak berbeda dengan pemupukan TSP, P-alam *Christmas Island*, dan Jordan (Foong, 1993).

Tanaman Karet

Tanaman karet membutuhkan hara P, menurut Dierolf *et al.* (2000) batas kecukupan hara P tersedia untuk tanaman karet adalah < 10, 10-20, dan >20 mg kg^{-1} P. Kadar hara optimum pada tanaman karet adalah 3,30-3,50% N, 0,233-0,236% P, 1,31-1,40% K, dan 0,210-0,220% Mg (Manurung, 1977 *dalam* Munthe, 1997). Nasution (2002) menyampaikan bahwa tanaman karet membutuhkan hara P, pemupukan P-alam yang diasamkan berpengaruh terhadap lilit batang setelah 23 bulan. Pada umur 36 bulan, pemupukan PARP 60% nyata meningkatkan lilit batang karet dibandingkan kontrol dan PARP 0% atau P-alam yang tidak diasamkan. Lilit batang tanaman karet pada pemupukan PARP >60 cenderung sama dengan pemupukan PARP 100% atau pemupukan TSP.

Pertumbuhan tanaman karet muda nyata dipengaruhi oleh pemupukan hara P. Tinggi tanaman, lilit batang dan berat kering tanaman karet muda pada pemupukan fosfat alam lokal sama dengan pemupukan TSP (Harjono, 1979).

Tabel 17. Pengaruh pupuk fosfat alam yang diasamkan terhadap rata-rata lilit batang tanaman karet, Desa Siancimun, Padang Bolak, Tapanuli Selatan (Nasution, 2002)

Perlakuan	Takaran	Lilit batang karet (cm) pada umur (bulan)				
		15	19	23	31	36
		g/p/th				
Tanpa P	0	7,6 a*	8,0 a	8,9 a	10,6 a	14,58 a
PARP 0%	430	9,2 a	10,1 a	11,0 ab	13,4 b	15,08 a
PARP 15%	406	7,8 a	8,6 a	10,3 ab	11,7 ab	14,95 a
PARP 30%	383	7,9 a	8,6 a	18,5 ab	11,9 ab	16,22 ab
PARP 60%	345	8,0 a	9,1 a	10,5 ab	12,1 ab	17,73 cb
PARP 75%	329	7,7 a	8,4 a	11,3 ab	11,8 ab	16,85 abc
PARP 100%	300	9,3 a	10,6 a	9,8 ab	14,5 cb	18,30 dc
LSD 5%		2,15	2,56	2,52	7,31	1,76

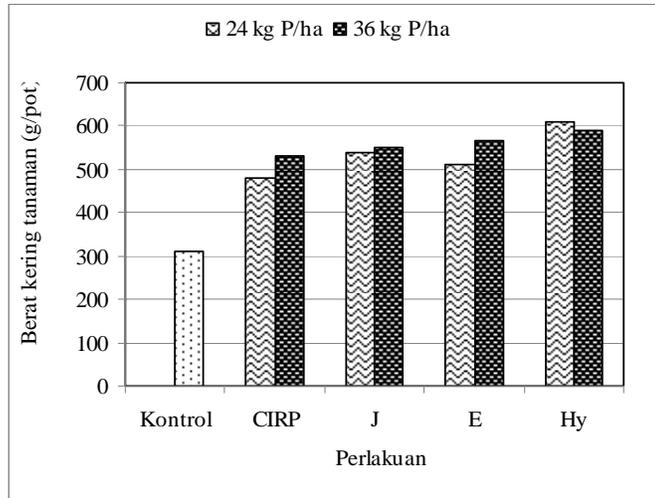
* Angka dalam kolom yang sama, diikuti oleh huruf yang sama berbeda tidak nyata pada $P \leq 0,05$

Sumber dan takaran pupuk P terlihat berpengaruh terhadap berat kering tanaman karet saat pembibitan (Gambar 3). Efektivitas ketiga pupuk fosfat alam tidak berbeda terhadap berat kering tanaman karet. Takaran pupuk 36 kg P ha⁻¹ terlihat meningkatkan berat kering tanaman pada pupuk fosfat alam *Christmas Island* dan *Egyptian* dibandingkan takaran 24 kg ha⁻¹. Takaran pemupukan tidak meningkatkan berat kering tanaman karet pada pupuk fosfat alam *Jordan*.

Tabel 18. Pengaruh pupuk fosfat alam terhadap pertumbuhan tanaman karet GT-1

Perlakuan	Tinggi tanaman	Lilit batang	Berat kering
	cm	mm	g
Kontrol	203,8	23,1	370
NP _(TSP) K	251,1	28,1	590
NP _(RP) K	222,9	25,6	580

Sumber: Harjono (1979)



Gambar 3. Pengaruh pemupukan beberapa sumber pupuk P terhadap berat kering tanaman pada pembibitan karet di rumah kaca (Mahmud dan Pushparajah, 1990)

Tanaman Tebu

Percobaan penggunaan fosfat alam sebagai sumber P untuk tanaman tebu telah dilakukan pada tanah Lateric merah di China oleh Huang *et al.* (2001). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekurangan hara P merupakan pembatas utama pertumbuhan tebu pada tanah masam. Fosfat alam yang mempunyai reaktivitas tinggi tidak hanya meningkatkan hasil tebu tetapi juga mempunyai pengaruh residu pada tanah masam dengan P rendah. Fosfat alam Carolina dan Marocco memberi pengaruh lebih baik daripada P-alam China baik pada takaran 250 dan 500 kg P₂O₅ ha⁻¹ untuk tiga tahun.

Tanaman Kakao

Batas kritis hara P tanah untuk tanaman kakao adalah <15, 15-25 dan >30 mg kg⁻¹ P tersedia, masing-masing status rendah, sedang dan tinggi (Dierolf *et al.*, 2000). Sedangkan batas kritis hara P dalam daun muda yang sudah membuka sempurna adalah <0,1, 0,1-0,2 dan >0,2% yang termasuk rendah, sedang dan

tinggi. Selanjutnya disampaikan bahwa pada produktivitas kakao 1-2 t ha⁻¹ dibutuhkan pupuk 50-70 kg P₂O₅ ha⁻¹.

Menurut Mainstone *et al.* (1977) melaporkan bahwa pemberian fosfat alam *Christmas* Island pada bibit kakao terlihat nyata meningkatkan luas permukaan daun, berat kering tanaman dan kadar P dalam daun (Tabel 19). Selanjutnya juga disampaikan bahwa penambahan batuan magnesium yang digiling pada pemberian fosfat alam *Christmas* Island justru menurunkan lingkaran batang, luas tajuk dan hasil kakao, serta menurunkan kadar P tersedia.

Tabel 19. Pengaruh penambahan pupuk fosfat alam *Christmas* Island terhadap pertumbuhan bibit kakao di polibag

P-alam <i>Christmas</i> Island	Luas permukaan daun	Berat kering tanaman	Kadar P daun
g/pot	cm ²	g	%
Tanpa P	5.400	104	0,15
46	6.200	110	0,18

Pemanfaatan fosfat alam di lahan kering

Fosfat alam merupakan sumber P yang dapat digunakan sebagai bahan baku industri seperti pupuk P yang mudah larut/*water-soluble* P/WSP (antara lain TSP, SP-18, SSP, DAP, MOP), bahan kimia, produk makanan dan suplemen hewan, dan detergen. Industri pupuk menggunakan sekitar 90% fosfat alam yang diproduksi di dunia. Konversi fosfat alam menjadi pupuk P yang mudah larut memerlukan biaya tinggi, pemborosan energi dan memerlukan jumlah bahan kimia seperti asam sulfat dan asam fosfat yang besar. Oleh karena itu diperlukan peningkatan efisiensi penggunaan pupuk P. Salah satunya adalah menggunakan fosfat alam sebagai pupuk secara langsung (*direct application phosphate rock/DAPR*).

Pupuk P-alam merupakan pupuk yang mengandung P dan Ca cukup tinggi, tidak cepat larut dalam air, sehingga bersifat lambat tersedia (*slow release*) dalam penyediaan hara P, namun mempunyai pengaruh residu lama. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat Bogor menunjukkan bahwa P-alam mempunyai efektivitas yang sama baiknya dengan sumber P yang mudah larut seperti SP-36, sehingga penggunaan P-alam sebagai sumber pupuk P bisa meningkatkan efisiensi pupuk di lahan kering masam (Kurnia *et al.*, 2003).

Namun demikian tidak semua fosfat alam dapat digunakan untuk *direct application* tergantung dari reaktivitasnya karena selain harus dapat melarut juga harus dapat tersedia bagi tanaman. Fosfat alam yang mempunyai reaktivitas atau kelarutan yang relatif tinggi dapat digunakan secara langsung sebagai pupuk pada lahan kering masam. Penggunaan fosfat alam secara langsung sebagai pupuk diharapkan mempunyai efektivitas yang sama dengan pupuk P yang mudah larut. Efektivitas fosfat alam ditentukan oleh beberapa faktor antara lain reaktivitas, ukuran butiran, pH tanah, dan respon/tanggap tanaman.

Fosfat alam yang mempunyai reaktivitas dan nilai RAE rendah terdapat kemungkinan untuk memperbaikinya dengan teknologi pupuk yang pada umumnya memang mengarah untuk menciptakan pupuk yang lebih efisien baik sehubungan dengan keperluan tanaman dan tanah maupun nilai ekonominya.

Potensi pengembangan pertanian pada lahan kering yang bersifat masam masih sangat besar, terutama di luar Jawa seperti di Kalimantan, Sumatera, dan Sulawesi. Kekahatan P merupakan salah satu kendala utama bagi kesuburan tanah masam. Tanah ini memerlukan P dengan takaran tinggi untuk memperbaiki kesuburan tanah dan meningkatkan produktivitas tanaman. Untuk mengatasi kendala kekahatan P umumnya menggunakan pupuk P yang mudah larut seperti TSP, SP-36, SSP, DAP. Pupuk tersebut mudah

larut dalam air sehingga sebagian besar P akan segera difiksasi oleh Al dan Fe yang terdapat di dalam tanah dan P menjadi tidak tersedia bagi tanaman. Selain itu penggunaan pupuk tersebut sangat mahal dan dengan terbatasnya subsidi pupuk maka penggunaan di tingkat petani sangat terbatas. Oleh karena itu perlu alternatif sumber pupuk P yang lain seperti fosfat alam yang harganya lebih murah dibandingkan dengan pupuk P yang mudah larut, dapat meningkatkan produktivitas tanaman dan memperbaiki kesuburan tanah. Fosfat alam merupakan sumber P yang lambat tersedia maka terjadinya fiksasi kecil sehingga pengaruh residunya cukup lama.

Fosfat alam dengan kandungan Ca setara CaO yang cukup tinggi (>40%) umumnya mempunyai reaktivitas tinggi sehingga sesuai digunakan pada tanah-tanah masam. Sebaliknya, fosfat alam dengan kandungan sesquioksida tinggi (Al_2O_3 dan Fe_2O_3) tinggi kurang sesuai digunakan pada tanah-tanah masam.

Fosfat alam dari deposit batuan sedimen sebagian besar telah mempunyai reaktivitas yang cukup memadai untuk tanaman pangan dan perkebunan. Sedangkan fosfat alam dari batuan beku mempunyai reaktivitas yang rendah sehingga perlu diasamkan dulu untuk digunakan sebagai pupuk.

Hasil penelitian penggunaan P-alam bermutu tinggi secara langsung pada tanaman perkebunan (kelapa sawit, karet dan kakao) di lahan masam dan rawa menunjukkan prospek yang baik. Efektivitas pupuk P-alam sebanding atau bahkan lebih unggul dari pada pupuk TSP yang mudah larut.

Penelitian berbagai sumber dan ukuran butiran fosfat alam menunjukkan bahwa P-alam dengan kadar dan reaktivitas tinggi dengan butiran kasar (*unground*) efektif dan efisien meningkatkan hasil padi gogo dan jagung seperti TSP. Pada tanah yang tingkat pelapukan sangat lanjut, penambahan kapur meningkatkan efisiensi penggunaan P-alam.

Penelitian serupa telah dilaksanakan di Sumatera Barat, Kalimantan Selatan, Kalimantan Barat dan Lampung dalam Proyek SebarFos menunjukkan bahwa penggunaan P-alam reaktivitas tinggi takaran 1 t ha^{-1} secara langsung pada musim pertama dapat meningkatkan produksi jagung 20-80% dan pendapatan petani (50-80%) hingga 4 musim tanam (Santoso *et al.*, 1990).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa fosfat alam Ciamis yang digunakan untuk tanaman pangan di lahan kering masam mempunyai persentase tanggap tanaman yang relatif sama dengan fosfat alam dengan reaktivitas tinggi (impor dari Afrika Utara) dan pupuk P mudah larut selama 5 musim tanam (jagung-padi gogo-kacang tunggak-jagung-padi gogo) dengan takaran yang sama ($300 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$) yang diberikan sekaligus pada musim tanam pertama. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa fosfat alam mempunyai efek residu untuk tanaman yang ditanam berikutnya (Tabel 20). Penggunaan fosfat alam Ciamis meningkatkan pendapatan petani sebesar 20% dibandingkan dengan penggunaan pupuk P mudah larut. Hal ini menunjukkan bahwa fosfat alam Ciamis (lokal/dalam negeri) dapat digunakan dan menguntungkan untuk tanaman pangan, serta dapat digunakan untuk memperbaiki tanah kesuburan tanah.

Tabel 20. *Relative agronomic effectiveness* (RAE) fosfat alam untuk tanaman pangan pada tanah masam di Pelaihari, Kalimantan Selatan

Sumber fosfat alam	Jagung MT-1	Padi gogo MT-2	Kacang tunggak MT-3	Jagung MT-4	Padi gogo MT-5	Rata-rata
	%					
OCP Maroko	47	104	150	121	128	110
Gafsa Tunisia	114	105	162	113	108	119
Djebel-Onk Aljazaer	25	98	162	130	133	109
ICS Senegal	69	99	112	118	95	98
OTP Togo	41	89	50	130	120	86
Ciamis (Indonesia)	106	114	212	90	122	126

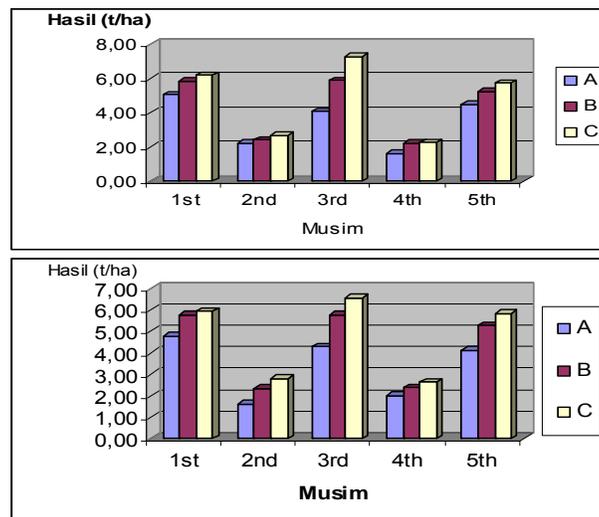
MT = musim tanam

Hasil penelitian jangka panjang aplikasi teknologi pengkayaan P tanah dengan fosfat alam 1.000 kg ha⁻¹ selama lima musim pada tanah Oxisol dan Ultisol meningkatkan hasil jagung antara 30-90% (Gambar 4 dan 5), disisi lain pendapatan meningkat 90% hingga 170% (Gambar 4) serta nilai R/C rasio lebih tinggi (Tabel 21).

Tabel 21. Analisis usaha tani jagung per ha pada pengaruh fosfat alam di Kalimantan Selatan selama lima musim tanam (MH. 2001/2002 – MH 2003/2004)

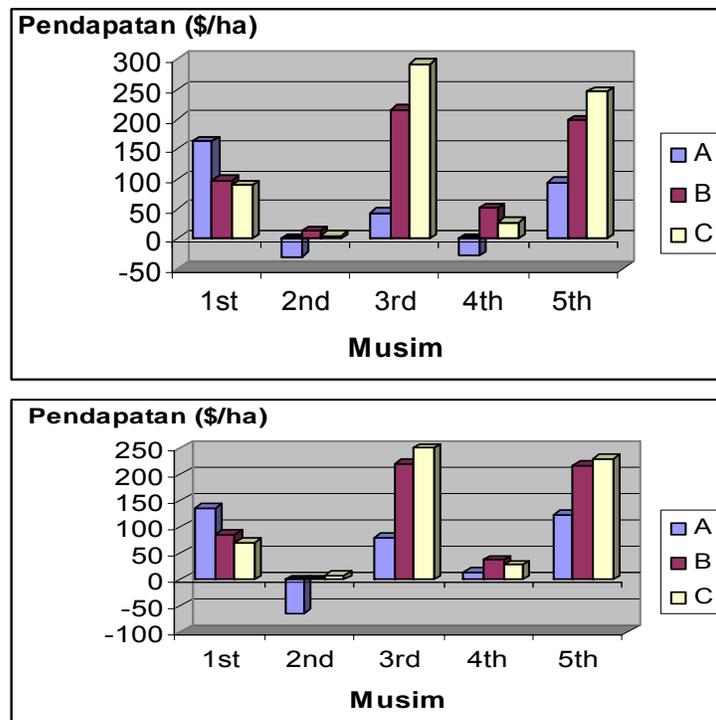
Perlakuan	Penerimaan	Ten.Kerja	Saprodi	Pendapatan	R/C rasio
A	1,834.82	764.47	825.32	245.03	1.15
B	2,267.50	867.66	822.83	577.01	1.34
C	2,560.59	920.90	978.14	661.55	1.35
A	1,709.97	722.64	697.53	289.80	1.20
B	2,204.87	833.28	813.67	557.92	1.34
C	2,424.25	870.65	969.42	584.17	1.32

Note: R/C rasio = penerimaan: total biaya; 1 \$ = Rp.8.500, -. Perlakuan A=cara petani; B=P-alam 1 t ha⁻¹ + pukan ayam 1 t ha⁻¹; C=P-alam 1 t ha⁻¹ + pukan ayam 2 t ha⁻¹



Gambar 4. Hasil jagung akibat pemberian fosfat alam selama 5 musim tanam di Oxisols (atas) dan Ultisols (bawah) Kalimantan Selatan pada tiga tingkat perlakuan (A=SP-36/cara petani; B= P-alam 1 t ha⁻¹ + pukan ayam 1 t ha⁻¹; C= P-alam 1 t ha⁻¹ + pukan ayam 2 t ha⁻¹)

Pada musim tanam kelima, produksi jagung sudah mulai menurun, hal ini mengindikasikan bahwa aplikasi P-alam untuk musim berikutnya perlu dilakukan kembali. Hasil jagung pada musim kemarau (MK) selalu lebih rendah sehingga pendapatan menurun, hal ini berkaitan dengan rendahnya ketersediaan air pada MK sehingga pertumbuhan jagung terhambat karena kekeringan. Aplikasi bahan organik memberikan pengaruh positif terhadap kelarutan P-alam dalam tanah karena asam-asam organik dapat melarutkan Ca-P, Al-P, Fe-P melalui cara mensuplai proton dan mengkompleks kation sehingga P tersedia bagi tanaman (Sutriadi *et al.*, 2005).



Gambar 5. Pendapatan usaha tani jagung akibat pemberian fosfat alam di Oxisols (atas) dan Ultisols (bawah) Kalimantan Selatan selama 5 musim tanam pada tiga tingkat perlakuan (A= SP-36/cara petani; B=fosfat alam 1 t ha⁻¹ + pukan ayam 1 t ha⁻¹; C=fosfat alam 1 t ha⁻¹ + pukan ayam 2 t ha⁻¹)

Takaran optimum pupuk P untuk tanaman jagung pada Ultisol Lampung adalah 39 kg P ha⁻¹ setara 90 kg P₂O₅ ha⁻¹ (Purnomo *et al.*, 2007), pada Inceptisols Bogor 40 kg P ha⁻¹ (Kasno *et al.*, 2007). Kadar P tersedia dan serapan P tanaman *Mucuna* pada pemberian 400 kg TSP dan 1 t P-alam ha⁻¹ (North Carolina dan Marroko) tidak berbeda (Adiningsih dan Fairhurst, 1996). Takaran pupuk P-alam dan Superphos yang akan dicoba adalah 40 kg P ha⁻¹.

Keuntungan penggunaan fosfat alam secara langsung sebagai pupuk (DAPR)

Makin terbatasnya sumber energi penggunaan fosfat alam secara langsung sebagai pupuk mulai mendapat perhatian. Beberapa keuntungan dari penggunaan fosfat alam secara langsung sebagai berikut:

1. Dapat menghemat energi dan memelihara lingkungan dengan mengurangi pencemaran yang diakibatkan oleh industri.
2. Merupakan bahan mineral alami sehingga fosfat alam dapat digunakan untuk pertanian organik.
3. Berdasarkan harga per unit hara P, fosfat alam lebih murah daripada pupuk buatan pabrik.
4. Berdasarkan hasil penelitian bahwa fosfat alam mempunyai efektivitas yang sama bahkan lebih tinggi dibandingkan dengan pupuk P yang mudah larut seperti TSP dan SP-36.
5. Penggunaan langsung dapat memanfaatkan fosfat alam yang tidak memenuhi syarat untuk industri pupuk yang mudah larut dan industri asam fosfat.
6. Biaya produksi tiap unit P₂O₅ pupuk fosfat alam sekitar 25-40% dari biaya pupuk buatan pabrik.
7. Selain mengandung hara P, fosfat alam mempunyai kandungan unsur lain seperti Ca, Mg, S, Cu, Zn, Mo dan B yang relatif tinggi dibanding pupuk buatan. Dengan demikian pupuk P-alam dapat mempunyai manfaat sebagai bahan untuk memperbaiki kesuburan tanah.

8. Fosfat alam juga mengandung kalsium dan magnesium karbonat (CaCO_3 dan MgCO_3) sehingga dapat menurunkan kemasaman tanah dan keracunan Al pada tanah-tanah masam (*liming effect*).
9. Meningkatkan efisiensi pupuk P (10-20%) dan mempunyai efek residu untuk tanaman berikutnya serta meningkatkan pendapatan petani sekitar 20%.

Kendala penggunaan fosfat alam secara langsung

Penggunaan fosfat alam secara langsung sebagai pupuk masih sangat terbatas. Terdapat beberapa faktor yang menghambat penggunaan fosfat alam secara langsung, antara lain sebagai berikut:

1. Variasi kadar P_2O_5 dalam fosfat alam sangat besar baik dalam total maupun ketersediaannya bagi tanaman, walaupun berasal dari deposit yang sama sehingga tanggap tanaman terhadapnya juga berbeda. Selain itu kadar P_2O_5 dan unsur lain yang sangat bervariasi dapat menyulitkan dalam spesifikasi sehingga berakibat menyulitkan pengadaan, perdagangan dan penggunaan.
2. Umumnya fosfat alam yang berasal dari batuan beku dan metamorfosa mempunyai kelarutan jauh lebih rendah dari fosfat alam yang berasal dari sedimen.
3. Ukuran butir fosfat alam yang halus berupa tepung dapat menyulitkan dalam penggunaan di lapangan. Saat ini diproduksi fosfat alam granular untuk memudahkan penggunaan tetapi dapat menurunkan ketersediaan hara.
4. Mengandung unsur seperti logam berat dan radioisotop yang dapat membahayakan pada konsentrasi tertentu dan berakibat mencemari lingkungan setelah fosfat alam yang digunakan langsung sebagai pupuk larut dalam tanah.

5. Deposit fosfat alam yang terdapat di Indonesia masih terbatas dibanding deposit fosfat alam di luar negeri.
6. Fosfat alam adalah bahan baku untuk pupuk P yang ditambang dan merupakan sumber yang tidak tergantikan sehingga cadangan yang tersedia di dunia hanya akan bertahan untuk 100-120 tahun jika penambangan fosfat alam tidak dikelola dengan tepat.

Prospek penggunaan fosfat alam secara langsung sebagai pupuk

1. Peluang untuk meningkatkan produksi komoditas pertanian dalam rangka ketahanan pangan nasional masih cukup besar, yaitu dengan meningkatkan produktivitas lahan di luar Pulau Jawa yang pada umumnya kahat P sehingga diperlukan masukan P dengan takaran tinggi. Mengingat keterbatasan pengadaan pupuk dalam negeri, maka penggunaan fosfat alam secara langsung sebagai pupuk di lahan masam terutama di luar Pulau Jawa merupakan salah satu alternatif.
2. Pengaruh residu fosfat alam pada tanah masam lebih tinggi dibanding dengan P yang mudah larut sehingga penggunaan fosfat alam secara langsung sebagai pupuk sumber P dapat dipandang sebagai investasi modal.
3. Penggunaan fosfat alam pada tanah masam dalam jangka panjang cenderung meningkatkan pH tanah. Hal ini lebih menguntungkan karena dapat meningkatkan ketersediaan hara-hara lain yang diperlukan tanaman.
4. Prospek penggunaan fosfat alam di lahan masam cukup baik. Oleh karena itu dalam rangka meningkatkan produktivitas lahan marginal dan pemberdayaan petani, maka perlu upaya-upaya pengadaan fosfat alam melalui pemanfaatan sumber fosfat alam baik domestik maupun impor.

PUSTAKA

- Adiningsih, J.S. and T.H. Fairhurst. 1996. The use of reaktif phosphate rock for the rehabilitation of anthropic savannah in Indonesia. p. 159-174. *In* A.E. Johnston and J.K. Syers. Nutrient Management for Sustainable Crop Production in Asia.
- Akinrinde, E.A., A.A. Abidemi, and Obigbesan, G.O. 2006. Phosphorus fertilization influence on economics of production of oil palm (*Elaeis guineensis*) seedlings. *Asian Journal of Plant Sciences* 5 (5): 776-781.
- Chan, F., Suwandi, dan A.U. Lubis. 1987. Diagnosa kebutuhan dan anjuran pemupukan fosfor pada tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) di Indonesia. hlm. 243-255 *dalam* Pros. Lokakarya Nasional Penggunaan Pupuk Fosfat, Pusat Penelitian Tanah, Bogor.
- Dierolf, T., T.H. Fairhurst, dan E.W. Mutert. 2000. Soil fertility kit: a toolkit for acid upland soil fertility management in Southeast Asia. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH; Food and Agriculture Organisation; PT Katom; and Potash & Phosphate Institute (PPI), Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC).
- Harjono, A. 1979. Pengaruh Pupuk N, P, K, dan Mg terhadap Pertumbuhan Karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Agr) GT-1 di Persemaian pada Tanah PMK di Sumatera Selatan. Tesis Magister Sains, Fakultas Pasca Sarjana, IPB, Bogor.
- Hikmatullah, N. Suharta, dan A. Hidayat. 2008. Potensi sumber daya lahan untuk mengembangkan komoditas pertanian di Provinsi Kalimantan Barat. *Jurnal Sumber daya Lahan* 2 (1): 45-58.

- Huang, Z, Chenglin Zhang, Jian Luo, Shaoling Zheng, Renjun Lu, and Xiaolong Yan. 2001. Utilization of rock phosphate as a source of phosphorus for sugarcane production on acid soil in South China. International Meeting Direct Application of Phosphate Rock and Related Appropriate Technology-Latest Developments and Practical Experiences, July 16-20, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Kasno A., D. Setyorini, dan I.G.P. Wigena. 2007. Aplikasi P-alam berkadar P tinggi pada tanah masam Inceptisol, Bogor untuk tanaman jagung. hlm. 395-409 *dalam* Pros. Lokakarya Nasional Inovasi Teknologi Pertanian Mendukung Hari Pangan Sedunia 2007. Bandar Lampung, 25-26 Oktober 2007.
- Khaswarina, S. 2001. Keragaan bibit kelapa sawit terhadap pemberian berbagai kombinasi pupuk pembibitan utama. *Jurnal Natur Indonesia III (2): 138-150.*
- Ling, A.H. 1987. Use of rock phosphate for direct application in cocoa plantations in Malaysia. hlm. 29-36 *dalam* Pross. Lokakarya Penggunaan Pupuk P-alam Secara Langsung pada Tanaman Perkebunan. Pusat Penelitian Tanah.
- Mahmud A.W. dan E. Puspharajah. 1990. Use of rock phosphate for direct application to rubber. hlm. 1-28 *dalam* Pross. Lokakarya Penggunaan Pupuk P-alam Secara Langsung pada Tanaman Perkebunan. Pusat Penelitian Tanah, Bogor.
- Martoyo, K., Suwandi, dan A.U. Lubis. 1987. Percobaan pemupukan fosfat alam pada tanaman kelapa sawit di Sumatera Utara. hlm. 361-369 *dalam* Pros. Lokakarya Nasional Penggunaan Pupuk Fosfat, Pusat Penelitian Tanah, Bogor.

- Moersidi, S. 1999. Fosfat alam sebagai bahan baku dan pupuk fosfat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor. P: 82.
- Mulyani, A., Hikmatullah, dan H. Subagyo. 2004. Karakteristik dan potensi tanah masam lahan kering di Indonesia. Buku 1: 1-32 *dalam* Pros. Simposium Nasional Pendayagunaan Tanah Masam. Bandar Lampung, 29-30 September 2003. Puslittanak, Bogor.
- Munthe, H. 1997. Upaya menekan biaya pemupukan tanaman karet dengan takaran yang tepat dan penggunaan bahan murah. *Warta Pusat Penelitian Karet*. 16 (1-3): 21-33.
- Nasution, M.Z. 2002. Pengaruh pupuk fosfat alam yang diasamkan (PARP) pada berbagai tingkat terhadap kesuburan tanah dan pertumbuhan lilit batang tanaman karet. *Jurnal Penelitian Karet*. 20 (1-3): 72-77.
- Pamin, K., Y. Taryo-Adiwiganda, M.M. Siahaan, dan Sugiyono. 1997. Peranan pupuk fosfat alam untuk meningkatkan produksi tanaman perkebunan. *dalam* Pross. Seminar Nasional Penggunaan Pupuk P-alam Mendorong Pembangunan Pertanian Indonesia yang Kompetitif. Jakarta, 16 Juli 1997. Departemen Pertanian RI, PT. Pupuk Sriwijaya, dan PT. Muidah.
- Prasetyo, B.H., Y. Sulaeman, D. Subardja, dan Hikmatullah. 2006. Karakteristik Spodosol dalam kaitannya dengan pengelolaan tanah untuk pertanian di Kabupaten Kutai, Kalimantan Timur. *Jurnal Tanah dan Iklim* 24: 69-79.
- Rankine, I., and T.H. Fairhurst. 1999. Management of phosphorus, potassium and magnesium in mature oil palm. *Better Crops International* 13 (1): 10-15.
- Sutriadi, M.T., R. Hidayat, S. Rochayati, dan D. Setyorini. 2005. Ameliorasi lahan dengan fosfat alam untuk perbaikan kesuburan tanah kering masam Typic Hapludox di Kalimantan Selatan. hlm. 143-155 *dalam* Pros. Seminar Nasional Inovasi Teknologi Sumber Daya Tanah dan Iklim, Bogor, 14-15 September 2004. Puslittanak, Bogor.

PEMANFAATAN FOSFAT ALAM UNTUK LAHAN SULFAT MASAM

I.G.M. Subiksa dan Diah Setyorini

PENDAHULUAN

Pembangunan pertanian menghadapi tantangan yang semakin kompleks antara lain disebabkan karena adanya konversi lahan produktif untuk keperluan non-pertanian, meningkatnya permintaan produk pertanian, efisiensi produksi dan sebagainya. Untuk menggantikan lahan yang telah dikonversi, pemerintah harus melakukan perluasan areal terutama ke luar Jawa. Namun karena terbatasnya lahan subur, maka perluasan lahan untuk pertanian merambah lahan marginal seperti lahan rawa pasang surut. Dari 20,11 juta ha lahan pasang surut yang ada di Indonesia, 6,7 juta ha adalah lahan sulfat masam. Kalau digabungkan dengan lahan potensial (yang juga berpotensi sulfat masam) 2,07 juta ha lahan, maka jumlahnya mencapai 8,77 juta ha. Lahan sulfat masam merupakan ekosistem yang potensial untuk dikembangkan sebagai lahan pertanian, karena arealnya yang cukup luas sehingga mempunyai peran yang strategis dalam mendukung peningkatan produksi beras nasional. Namun lahan sulfat masam bukan hanya cocok untuk tanaman padi, tapi juga tanaman pangan lainnya dan tanaman hortikultura dan perkebunan. Hal penting yang harus diperhatikan dalam pemanfaatannya harus hati-hati dan terencana agar tidak mengalami degradasi dan menimbulkan masalah lingkungan.

Lahan sulfat masam adalah lahan yang memiliki horizon sulfidik (pirit) di dalam kedalaman <50 cm atau sulfurik di dalam kedalaman < 120 cm (Dent, 1986). Bahan sulfidik adalah sumber kemasaman tanah bila bahan ini teroksidasi dan menghasilkan kondisi sangat masam. Kemasaman tanah yang tinggi memicu larutnya unsur beracun dan kahat hara sehingga tanah menjadi

tidak produktif. Diperlukan upaya ekstra untuk mengelola lahan ini menjadi produktif. Sesuai hukum minimum, faktor pembatas utama harus dapat diatasi sebelum usaha lainnya dilakukan. Lebih lanjut Dent, 1986 mengemukakan rendahnya produktivitas lahan sulfat masam disebabkan karena tingginya kemasaman tanah yang menyebabkan meningkatnya kelarutan unsur beracun seperti Al, Fe dan Mn, selain juga karena rendahnya kejenuhan basa dan status hara P dan K.

Masalah hara yang paling banyak dilaporkan pada lahan sulfat masam adalah ketersediaan hara P yang rendah dan fiksasi P yang tinggi oleh Al dan Fe. Hara P merupakan salah satu unsur hara yang paling banyak dibutuhkan tanaman. Hara ini berfungsi untuk pertumbuhan akar, transfer energi dalam proses fotosintesis dan respirasi, perkembangan buah dan biji, kekuatan batang dan ketahanan terhadap penyakit. Serapan hara P yang cukup akan menjamin tanaman tumbuh dengan baik (Lingga, 1986; Hakim, 1986). Oleh karenanya pemupukan P pada lahan sulfat masam adalah komponen teknologi yang harus mendapat prioritas. Pengapuran untuk mengurangi kemasaman tanah dan unsur beracun dan pemupukan P untuk mengurangi kahat P diharapkan dapat meningkatkan produktivitas lahan sulfat masam. Dalam kaitan dengan pemanfaatan fosfat alam, lahan sulfat masam memiliki nilai tambah karena dengan tingkat kemasaman yang tinggi maka kelarutan fosfat alam akan lebih cepat. Karena sebagian kandungan fosfat alam adalah CaCO_3 , maka pemanfaatan fosfat alam akan mampu mengurangi tingkat kemasaman tanah sehingga membantu memperbaiki pertumbuhan tanaman.

Fosfat alam adalah mineral apatit yang umumnya memiliki kelarutan yang rendah sehingga ketersediaannya untuk tanaman sangat rendah. Untuk meningkatkan kelarutannya, dalam proses pembuatan pupuk P komersial seperti SSP, TSP, SP-36 dan pupuk fosfat mudah larut lainnya, fosfat alam diasamkan dengan

menambahkan asam kuat seperti asam sulfat atau asam fosfat. Reaksi yang terjadi dapat digambarkan sebagai berikut:



Penambahan asam dimaksudkan untuk menghancurkan mineral apatit sehingga fosfat membentuk ikatan yang lebih lemah sehingga mudah larut dan pada akhirnya lebih tersedia bagi tanaman. Lahan sulfat masam dalam proses pembentukannya menghasilkan asam sulfat sehingga membentuk reaksi sangat masam dalam lingkungan tanah. Oleh karenanya fosfat alam yang diberikan pada tanah sulfat masam akan mengalami peningkatan kelarutan yang sangat signifikan, sehingga dapat dikatakan lahan sulfat masam adalah “pabrik pupuk alami”. Keuntungan yang bisa diperoleh dari pemanfaatan fosfat alam pada lahan sulfat masam adalah: (1) harga per satuan hara pupuk lebih murah; (2) kelarutan dan ketersediaan hara P untuk tanaman meningkat; (3) meningkatkan pH tanah sehingga memperbaiki lingkungan perakaran tanaman; (4) pelepasan hara P secara bertahap sehingga mengurangi jerapan oleh Al dan Fe; (5) fosfat alam mengandung hara sekunder seperti Ca dan Mg yang dibutuhkan tanaman; dan (6) fosfat alam meningkatkan proses granulasi sehingga tanahnya lebih mudah diolah dan tidak lengket.

Fosfat alam merupakan salah satu pupuk fosfat alami karena berasal dari bahan tambang, sehingga kandungan P sangat bervariasi. Efektivitas fosfat alam pada lahan sulfat masam dipengaruhi oleh kualitas fosfat alam dan tingkat kehalusan butir. Fosfat alam yang bagus mengandung fosfat alam (P_2O_5) lebih dari 25%.

Tulisan ini bertujuan untuk memberi gambaran tentang karakteristik lahan sulfat masam dan pemanfaatan fosfat alam untuk meningkatkan produktivitasnya untuk tanaman pangan, perkebunan, dan hortikultura.

KARAKTERISTIK LAHAN SULFAT MASAM

Lahan sulfat masam adalah lahan yang memiliki horizon sulfidik dan atau sulfurik di dalam kedalaman 120 cm dari permukaan tanah mineral. Pada umumnya lahan sulfat masam terbentuk pada lahan pasang surut yang memiliki endapan marin. Karena kondisi lingkungannya beragam maka karakteristik lahan sulfat masam sangat beragam. Klasifikasi lahan sulfat masam juga dikenal beberapa istilah yang mencerminkan kondisi lingkungan dan tingkat kegawatan kendala yang dihadapi.

Tipologi lahan

Tipologi lahan adalah penggolongan lahan rawa berdasarkan kendala biofisik atau karakteristik lahan yang berpengaruh pola pemanfaatan dan pengelolaan lahan. Tipologi lahan diusulkan oleh Widjaja-Adhi (1986), untuk Proyek Pengembangan lahan Pasang Surut dan Rawa Swamps-II. Lahan sulfat masam termasuk dalam kelompok lahan rawa pasang surut yang terdiri atas lahan sulfat masam aktual dan lahan sulfat masam potensial. Karakteristik tanah yang menentukan tipologi lahan adalah kedalaman lapisan sulfidik dan sulfurik. Wiidjaja Adhi, 1986 mengusulkan istilah lahan sulfat masam dan lahan potensial. Lahan sulfat masam adalah lahan sulfat masam aktual dan sulfat masam potensial dengan lapisan sulfidik < 50 cm. Sedangkan lahan potensial adalah lahan sulfat masam potensial yang memiliki kedalaman lapisan sulfidik > 50 cm. Selanjutnya Widjaja Adhi, 1995 merevisi tipologi lahan menjadi lahan bersulfida dangkal, lahan bersulfida dangkal bergambut, lahan bersulfat-1, lahan bersulfat-2 dan lahan bersulfat-3 sebagai pengganti istilah lahan sulfat masam. Sedangkan untuk lahan potensial diterjemahkan menjadi lahan bersulfida sangat dalam dan lahan bersulfida dalam.

Tabel 22. Klasifikasi tipologi lahan sulfat masam

Tipologi lahan		Simbol	Kriteria
Lahan potensial	Sulfat potensial	masam P	Kadar pirit <2% belum mengalami proses oksidasi, terletak pada kedalaman >50 cm dari permukaan tanah, termasuk tanah sulfat masam potensial. Kendala produksi dan kemungkinan munculnya kendala tersebut diperkirakan kecil.
Lahan sulfat masam	▪ Sulfat masam potensial	SM	Lapisan pirit dengan kadar >2% tidak/belum mengalami proses oksidasi, dan terletak lebih dangkal, <50 cm dari permukaan tanah.
	▪ Sulfat masam aktual	SM	Memiliki horizon sulfurik, dengan jarosit/ <i>brown layer</i> , pH (H ₂ O)<3,5.

Sumber: Widjaja Adhi *et al.* (1986)

Dinamika nomenklatur lahan sulfat masam berlanjut dengan perubahan kecil pada lahan potensial (bahan sulfidik >50 cm), menjadi lahan potensial-1 (bahan sulfidik >100 cm) dan lahan potensial-2 (bahan sulfidik 50-100 cm), serta penamaan lahan sulfat masam bergambut menjadi lahan sulfat masam potensial bergambut, dengan kedalaman lapisan gambut di permukaan tanah antara 20-40 cm.

Tabel 23. Revisi klasifikasi tipologi lahan sulfat masam

Klasifikasi tipologi lahan, 1992-1993	Klasifikasi tipologi lahan menurut Widjaja-Adhi, 1995	Simbol	Kedalaman pirit/bahan sulfidik
Lahan potensial	Aluvial bersulfida sangat dalam	SMP-3	>100 cm
	Aluvial bersulfida dalam	SMP-2	50-100 cm
Lahan sulfat masam	Aluvial bersulfida dangkal	SMP-1	<50 cm
	Aluvial bersulfida dangkal bergambut (Histik sulfat masam)	HSM/G-0	<50 cm; bergambut <50 cm
	Aluvial bersulfat-1	SMA-1	<100 cm (pH-H ₂ O >3,5)
	Aluvial bersulfat-2	SMA-2	<100 cm (pH-H ₂ O <3,5)
	Aluvial bersulfat-3	SMA-3	>100 cm (pH-H ₂ O <3,5)

Sumber: Widjaja Adhi (1995)

Tipe Luapan

Sebagaimana telah diuraikan di atas bahwa lahan sulfat masam adalah bagian dari ekosistem lahan pasang surut. Oleh karenanya, lahan ini mengalami fenomena pasang surut harian seiring dengan pergerakan matahari dan bulan. Berdasarkan tipe luapan, lahan sulfat masam dibagi menjadi empat kelompok yaitu: (1) tipe luapan A; (2) tipe luapan B; (3) tipe luapan C; dan (4) tipe luapan D. Lahan sulfat masam dengan tipe luapan A adalah lahan yang terluapi oleh air pasang besar maupun pasang kecil. Lahan ini mengalami risiko paling kecil terhadap pemasaman karena lapisan pirit biasanya selalu jenuh air. Lahan tipe luapan B adalah lahan yang hanya terluapi oleh pasang besar saja. Biasanya kejadian pasang besar hanya terjadi pada saat bulan purnama atau bulan mati, masing-masing selama 5 – 7 hari. Jadi dalam 1 bulan kira-kira kejadian pasang besar hanya 10 – 14 hari. Lahan sulfat masam dengan tipe luapan C adalah lahan yang tidak diluapi oleh pasang besar maupun kecil, tetapi pergerakan air tanah ada diantara 0 – 50 cm dari permukaan tanah. Sedangkan lahan dengan tipe luapan D adalah lahan yang tidak terluapi oleh pasang besar maupun kecil, dan pergerakan air tanah berada pada kedalaman > 50 cm. Direktorat Rawa (1984) menggunakan istilah lahan katagori I, II, III dan IV masing-masing untuk lahan tipe luapan A, B, C, dan D.

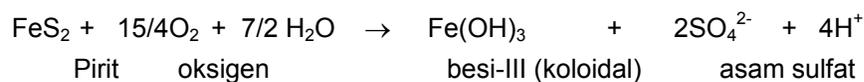
Mengenali tipe luapan lahan sulfat masam sangat penting karena sangat menentukan dalam sistem pengelolaan lahan dan airnya. Lahan sulfat masam dengan tipe luapan A dan B umumnya dikelola menjadi lahan sawah dan pengelolaan airnya menggunakan sistem aliran satu arah. Lahan sulfat masam dengan tipe luapan C dikembangkan sawah sistem surjan atau lahan kering. Sistem pengelolaan air yang dianjurkan adalah dengan sistem tabat. Sedangkan lahan dengan tipe luapan D, sebaiknya digunakan untuk lahan kering dengan sistem pengelolaan air dengan sistem tabat. Pengelolaan sistem tabat

dimaksudkan untuk membantu mempertahankan permukaan air tanah setinggi mungkin agar tidak terjadi pemasaman berlanjut.

Sifat Kimia dan Fisik Lahan Sulfat Masam

Seperti telah diuraikan di atas bahwa lahan sulfat masam terbentuk pada lahan pasang surut dengan endapan marin atau fluvio marin. Ciri utama endapan marin adalah adanya lapisan tanah yang mengandung pirit (FeS_2). Dalam kondisi alaminya yaitu dalam suasana jenuh air atau anaerobik, pirit bersifat stabil dan tidak berbahaya. Karena pengaruh air laut, pH tanah cenderung mendekati netral sampai agak alkalis. Posisi lapisan tanah yang mengandung pirit ini bervariasi dari dekat permukaan tanah sampai lebih dari 120 cm. Posisi lapisan tanah berpirit ini merupakan faktor penentu rapuhnya tanah sulfat masam.

Reklamasi lahan rawa pasang surut untuk pertanian, diawali dengan membangun jaringan saluran drainase. Pembangunan saluran ini merubah secara drastis kondisi anaerob menjadi aerob. Lahan mengalami pengeringan/pengatusan, air tanah menjadi turun, maka lingkungan di lapisan tanah yang mengandung pirit menjadi terbuka (*exposed*). Dalam suasana aerobik, pirit menjadi tidak stabil karena bereaksi dengan oksigen udara. Reaksi oksidasi pirit dengan oksigen berjalan lambat, dan dipercepat oleh adanya bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*. Seluruh reaksinya digambarkan sebagai berikut:



Proses ini biasanya terjadi pada musim kemarau, setelah tanah mengalami rekahan. Tanah endapan marin yang semula berupa lapisan sulfidik (sulfat masam potensial) berubah menjadi lapisan sulfurik (sulfat masam aktual). Kondisi tanah yang sangat masam akan merusak struktur mineral liat sehingga kadar Al dan Fe dalam tanah menjadi sangat tinggi. Masalah yang timbul bukan

hanya karena tanahnya masam, tetapi beberapa proses ikutan antara lain:

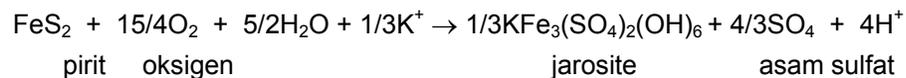
1. Pada pH yang rendah, ion aluminium (Al^{3+}) akan dibebaskan dalam larutan tanah, dan dapat mencapai konsentrasi yang bersifat toksik terhadap pertumbuhan padi atau tanaman lain.
2. Konsentrasi besi-III yang tinggi dan adanya ion Al yang melimpah dalam larutan tanah, akan mengikat ion fosfat yang tersedia, sehingga mengurangi fosfat yang tersedia, bahkan mengakibatkan kahat/defisiensi P.
3. Adanya ion Al yang berlebihan akan mengganti basa-basa dapat tukar pada kompleks pertukaran kation, dan membebaskan ion Ca, Mg, dan K ke dalam larutan tanah, yang selanjutnya dapat "*tercuci*" keluar karena dibawa hanyut oleh air yang mengalir. Tidak hanya pasokan K menjadi terbatas, tetapi juga mengakibatkan kahat unsur Ca dan Mg.
4. Secara ringkas, akibat penurunan pH tanah di bawah pH 3,5 terjadi keracunan ion H^+ , Al, SO_4^{2-} , dan Fe-III, serta penurunan kesuburan tanah alami akibat hilangnya basa-basa tanah, sehingga tanah mengalami kahat P, K, Ca, dan Mg. Bloomfield dan Coulter (1973) melaporkan bahwa telah terjadi kahat unsur hara makro (K, Ca, Mg), dan mikro (Mn, Zn, Cu, dan Mo) pada berbagai tanah sulfat masam di daerah tropika.

Hasil reaksi adalah dihasilkannya besi-III koloidal, dan asam sulfat yang terlarut menjadi ion sulfat dan melimpahnya ion H^+ , yang mengakibatkan pH tanah turun drastis dari awalnya netral-agak alkalis (pH 5,5-6,5) menjadi masam ekstrim (pH 1,3 - <3,5). Namun, apabila tanah memiliki cukup besar senyawa-senyawa penetralisir, seperti ion OH^- , kapur (CaCO_3), basa-basa dapat tukar, dan mineral-mineral silikat mudah melapuk, pH tanah tidak sampai turun di bawah pH 4,0. Adanya liat marin yang

mengandung cukup mineral liat smektit yang jenuh basa-basa, juga ikut membuffer penurunan pH tanah.

Terlalu banyaknya ion H^+ dalam larutan tanah akan merusak struktur mineral liat, dan membebaskan banyak ion aluminium (Al^{3+}) yang bersifat toksik terhadap tanaman. Sebagian besar dari besi-III koloidal yang terbentuk, pada akhirnya mengkristal menjadi oksida besi “goethite”, yang berwarna coklat kemerahan, berupa karatan, selaput atau nodul-nodul dalam tanah, dan dinding-dinding saluran drainase.

Dalam kondisi oksidasi yang sangat kuat, misalnya oleh air tanah yang turun terlalu dalam, atau akibat penggalian saluran drainase, bahan endapan marin secara tiba-tiba diangkat ke lingkungan udara terbuka, oksidasi pirit akan menghasilkan mineral *jarosite*, berbentuk kerak berwarna kuning kecoklatan pada dasar berwarna kelabu.



Jarosit stabil dalam kondisi teroksidasi (potensial redoks > 400-500 mV) pada lingkungan masam (pH 2-4).

Studi kasus hasil karakterisasi lahan sulfat masam di Kalimantan dan Sumatera menunjukkan bahwa tanah sulfat masam potensial (SMP) memiliki reaksi tanah bervariasi dari masam ekstrim (*extremely acid*) (pH 3,5 atau kurang) sampai sangat masam (*very strongly acid*) (pH 4,5-4,8), dan cenderung makin masam di lapisan-lapisan bawah. Reaksi tanah lapisan atas rata-rata sangat masam sekali (pH 4,0-4,3), dan di lapisan bawah masam ekstrim sampai sangat masam sekali (pH 3,5-3,8). Karena berasal dari endapan marin, maka kadar garam yang ditunjukkan oleh daya hantar listrik seringkali tinggi.

Kandungan bahan organik bervariasi sedang sampai sangat tinggi, baik pada SMP dari Sumatera maupun SMP dari

Kalimantan. Rata-rata kandungan bahan organik sangat tinggi sampai sangat tinggi sekali (9,16-20,54%) di lapisan atas, dan sangat tinggi (6,31-6,61%) di lapisan bawah. Kandungan N tinggi (0,59-0,70%) di lapisan atas, dan menurun menjadi rendah sampai sedang (0,17-0,28%) di lapisan bawah. Rasio C/N di seluruh lapisan tanah bervariasi dari tinggi sampai sangat tinggi, dan cenderung meningkat di lapisan bawah. Rata-rata C/N tergolong tinggi (16-24) di lapisan atas, dan sangat tinggi (30-31) di lapisan bawah.

Kandungan fosfat potensial (P_2O_5 -HCl 25%) pada SMP dari Sumatera bervariasi dari rendah sampai sangat tinggi di lapisan atas, dan menurun menjadi rendah sampai sedang di lapisan bawah. Rata-ratanya tinggi ($58 \text{ mg } 100 \text{ g tanah}^{-1}$) di lapisan atas, dan rendah ($20 \text{ mg } 100 \text{ g tanah}^{-1}$) di lapisan bawah. Sementara kandungan P_2O_5 di seluruh lapisan pada SMP dari Kalimantan, bervariasi dari rendah sampai sangat tinggi. Oleh karena itu, rata-rata kandungan P_2O_5 potensial di lapisan atas termasuk sangat tinggi ($115 \text{ mg } 100 \text{ g tanah}^{-1}$), dan di lapisan bawah sedang ($33 \text{ mg } 100 \text{ g tanah}^{-1}$). Kandungan K_2O tergolong sedang (32 - $35 \text{ mg } 100 \text{ g tanah}^{-1}$) di lapisan atas, dan sedang sampai tinggi (29 - $60 \text{ mg } 100 \text{ g tanah}^{-1}$) di lapisan bawah. Kandungan fosfat tersedia (P_2O_5 Bray-I) tergolong sedang sampai tinggi ($17,7$ - $32,3 \text{ ppm}$) di lapisan atas, dan sedang ($15,2$ - $17,0 \text{ ppm}$) di lapisan bawah.

Jumlah basa, baik di lapisan atas maupun lapisan bawah, tergolong tinggi ($18,0$ - $28,3 \text{ cmol}(+)/\text{kg tanah}$). Basa dapat tukar yang dominan di seluruh lapisan tanah adalah Mg dan Na masing-masing untuk Mg termasuk sangat tinggi ($10,89$ - $14,19 \text{ cmol}(+)/\text{kg tanah}$, pada SMP dari Sumatera, dan termasuk tinggi ($7,05$ - $8,02 \text{ cmol}(+)/\text{kg tanah}$) pada SMP dari Kalimantan. Kandungan Na tergolong sangat tinggi sampai sangat tinggi sekali, baik di lapisan atas ($2,34$ - $6,01 \text{ cmol}(+)/\text{kg tanah}$) maupun di lapisan bawah ($4,91$ - $5,61 \text{ cmol}(+)/\text{kg tanah}$). Sebaliknya kandungan Ca-dapat tukar rendah sampai sedang, baik di lapisan atas ($5,11$ - $7,84 \text{ cmol}(+)/\text{kg}$

tanah), maupun lapisan bawah (4,61-7,95 cmol(+)/kg tanah). Sementara kandungan K-dapat tukar, tergolong sedang (0,43-0,64 cmol(+)/kg tanah) di seluruh lapisan.

Kapasitar tukar kation tanah, menunjukkan nilai tinggi sampai sangat tinggi (31,5-62,5 cmol(+)/kg tanah) di lapisan atas, dan tinggi (28,9-32,7 cmol(+)/kg tanah) di lapisan bawah karena pengaruh kandungan bahan organik yang sangat tinggi. Kejenuhan basa tergolong rendah sampai sedang (35-49%) di lapisan atas, dan sedang sampai sangat tinggi (55-84%) di lapisan bawah.

Kejenuhan Al di semua lapisan umumnya sangat bervariasi dari sangat rendah sampai sangat tinggi, dan rata-ratanya rendah (32-35%) di lapisan atas, dan rendah sampai sedang (30-47%) di lapisan bawah. Kandungan pirit (FeS_2) sangat rendah (0,44-1,12%) di lapisan atas, dan rendah (1,35-2,31%) di lapisan bawah.

PEMANFAATAN FOSFAT ALAM

Lahan sulfat masam memiliki tingkat kemasaman tanah yang tinggi dengan pH tanah bisa mencapai < 4 . Sumber kemasaman adalah bahan sulfidik yang bila bahan ini teroksidasi dan menghasilkan kondisi sangat masam. Kemasaman tanah yang tinggi memicu larutnya unsur beracun dan kahat hara sehingga tanah menjadi tidak produktif. Diperlukan upaya ekstra untuk mengelola lahan ini menjadi produktif. Sesuai hukum minimum, faktor pembatas utama harus dapat diatasi sebelum usaha lainnya dilakukan. Pengapuran untuk mengurangi kemasaman tanah dan unsur beracun dan pemupukan P untuk mengurangi kahat P diharapkan dapat meningkatkan produktivitas lahan sulfat masam. Penggunaan pupuk fosfat konvensional seperti SP-36 saat ini paling umum dipakai sebagai sumber P karena pupuk ini tersedia di pasar. Namun penggunaan SP-36 yang mudah larut kurang efisien karena jerapan P oleh Fe dan Al cukup tinggi. Alternatif lain adalah menggunakan fosfat alam yang

lebih murah dan memiliki efek pengapuran. Fosfat alam adalah batuan fosfat yang umumnya berupa mineral apatit dan dihasilkan dari proses penambangan (Moersidi, 1999). Kualitas fosfat alam untuk pupuk sangat ditentukan oleh kandungan P dan reaktivitasnya (Chien *et al.*, 1992). Pada umumnya fosfat alam mengandung P_2O_5 yang bervariasi antara 20 – 32%. Kelarutan fosfat alam pada tanah netral sangat rendah atau lambat melarut (*slow release*, tetapi akan meningkat bila diaplikasikan pada tanah masam).

Pemupukan P-alam untuk Tanaman Pangan

Karena lambat tersedia (*slow release*) maka P-alam cocok untuk tanah-tanah yang masam dan memiliki jerapan P tinggi. Oleh karenanya, fosfat alam sangat dianjurkan dipakai untuk tanah sulfat masam. Hasil penelitian penggunaan fosfat alam untuk tanaman padi sawah menunjukkan bahwa penggunaan P-alam seperti Tunisia, Florida dan PARP 50% pada tanah sulfat masam di Sumatera Selatan dan Kalimantan Tengah memiliki efektivitas lebih baik dibandingkan TSP (Subiksa *et al.*, 1991; Suping *et al.*, 2000). Hartatik dan Adiningsih (1989) menunjukkan bahwa P-alam memiliki efek residu yang lebih baik dibanding TSP pada tanah kering masam untuk tanaman kedelai dan jagung.

Hasil penelitian Subiksa dan Ratmini (1998) menunjukkan bahwa pemupukan P-alam China meningkatkan secara nyata pertumbuhan dan produksi padi di lahan sulfat masam di Delta Telang. Efektivitas pemupukan P-alam menurun dengan perlakuan pengapuran yang tinggi. Takaran pupuk P-alam China yang diperlukan untuk mencapai produksi optimum adalah 800 kg P-alam ha^{-1} pada perlakuan pengapuran 1 t ha^{-1} , atau 250 kg ha^{-1} pada perlakuan pengapuran 2 t ha^{-1} . Fosfat alam China adalah salah satu jenis P-alam berbentuk ground yang diimpor dalam jumlah besar dari China. Hasil analisis di laboratorium, fosfat alam China mengandung P_2O_5 total 29,5% dan yang terlarut asam sitrat

2% sekitar 8,4% dan lolos saringan 80 mesh sebesar 87%. Menurut kriteria syarat mutu SNI 02-3776-2005, P-alam ini tergolong mutu A dan reaktifitas tinggi (Sulaeman *et al.*, 2005).

Tanah sulfat masam di Pulau Petak sangat respon terhadap pemupukan P baik yang berasal dari TSP maupun dari *Rock Phosphate*. Hasil penelitian Manuelpillei *et al.* (1986) di kebun percobaan Unit Tatas BARIF pemberian 135 kg P₂O₅ ha⁻¹, 1.000 kg kaptan ha⁻¹, 50 kg K₂O ha⁻¹, dan 120 kg N ha⁻¹ dapat meningkatkan hasil tanaman padi menjadi 2,45 t ha⁻¹ GKG terjadi delapan kali lipat peningkatan bila dibandingkan dengan kontrol (tanpa P dan kaptan). Pemberian 90 kg P₂O₅ ha⁻¹ dan kaptan 500 kg ha⁻¹ menghasilkan 2,21 t ha⁻¹ GKG, hasil ini tidak berbeda nyata dengan pemberian 135 kg P₂O₅ ha⁻¹ dan kaptan 1.000 kg ha⁻¹. Pemberian *rock phosphate* pada tanah sulfat masam juga menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata dengan penggunaan TSP, hal ini disebabkan terjadinya proses penyanggaan *rock phosphate* dalam media yang sangat masam, menghasilkan bentuk P yang meta-stabil seperti *dicalcium phosphate* yang tersedia untuk tanaman. Subiksa *et al.* (1998) menggunakan fosfat alam dengan kadar rendah (kaptan fosfatan) dengan takaran 2,0 t ha⁻¹ memiliki efek yang sama dengan penggunaan 300 kg SP-36 + kaptan 2 t ha⁻¹ pada tanah sulfat masam di Tarantang Kalimantan Selatan. Hasil yang lebih tinggi 23% malah diperoleh dari fosfat alam Ciamis dengan takaran 400 kg ha⁻¹ + kaptan 2 t ha⁻¹. Hasil yang hampir sama juga didapatkan pada tanah sulfat masam yang lebih ekstrim di Belawang Kalimantan Selatan.

Subiksa *et al.* (1999), menunjukkan pemberian dolomit 2 t ha⁻¹ dan SP-36 200-300 kg ha⁻¹ dapat menghasilkan rata-rata 4,0 t ha⁻¹ GKG pada tanah sulfat masam potensial di Kecamatan Telang, Kabupaten Muba, Sumatera Selatan. Dalam penelitian pada tanah sulfat masam potensial di Tabung Anen Kalimantan Selatan pemberian pupuk P + kalium + bahan organik dan kapur

masing-masing sebesar 43 kg P ha⁻¹, 52 kg K ha⁻¹, kapur 1 t ha⁻¹ dan pupuk kandang 5 t ha⁻¹ memberikan hasil 3,24 t ha⁻¹ GKG, pemberian kapur didasarkan kepada metode inkubasi untuk mencapai pH 5 (Hartatik *et al.*, 1999). Sedangkan pemupukan P berdasarkan kepada kebutuhan P untuk mencapai 0,02 ppm P dalam larutan tanah.

Di Belawang kebutuhan kapurnya lebih tinggi yaitu sebesar 4 t ha⁻¹, respon pemupukan P dan K tertinggi dicapai pada perlakuan P optimum (100 kg P ha⁻¹), K 78 kg ha⁻¹, dan 4 t kapur ha⁻¹. Hasil itu dapat dipahami karena tanah sulfat masam aktual di Belawang piritnya telah mengalami oksidasi sehingga Al-dd tinggi dan P tersedia rendah. Hasil penelitian pemupukan P dan kapur pada tanah sulfat masam pada beberapa lokasi penelitian disajikan pada Tabel 4.3. P-alam yang telah dicoba untuk tanah sulfat masam dan memberikan hasil yang sama baiknya adalah P-alam Tunisia, Ciamis, *Christmas*, dan Aljazair.

Pemupukan P-alam untuk Tanaman Hortikultura dan Buah-buahan.

Walaupun tergolong lahan marginal, lahan sulfat masam juga bisa dikembangkan untuk usaha tani tanaman sayuran dan buah-buahan. Tanaman sayuran yang beradaptasi adalah sayuran dataran rendah seperti cabai, terong, melon, mentimun, bawang merah, kacang panjang dll. Sementara itu tanaman buah-buahan yang banyak ditanam adalah pepaya, rambutan, melon, jeruk, nanas dan sebagainya. Tanaman sayuran, terutama yang menghasilkan buah dan tanaman buah-buahan memerlukan pemupukan P yang tinggi yang dapat disuplai dengan pemberian fosfat alam. Tanaman cabai dan terung adalah tanaman sayuran yang banyak diusahakan petani di lahan sulfat masam tipe C dan di bagian guludan surjan. Penelitian Najib *et al.* (2008) menunjukkan bahwa tanaman terung varietas Raos bisa menghasilkan 14,1 t ha⁻¹ buah segar bila dipupuk dengan pupuk

fosfat 90 kg P_2O_5 ha⁻¹ (setara dengan 350 kg fosfat alam ha⁻¹) dan dikombinasikan dengan amelioran kapur satu setengah kali Al_{dd}. Artim (1998) menunjukkan bahwa tanaman cabai kriting yang ditanam di guludan surjan memerlukan pemupukan P dengan takaran 200 kg P_2O_5 ha⁻¹ yang setara dengan 800 kg fosfat alam ha⁻¹ di lahan sulfat masam Telang Sumatera Selatan. Rosliani *et al.* (2009) mengemukakan bahwa efisiensi penggunaan fosfat alam untuk tanaman mentimun pada tanah masam dapat ditingkatkan dengan penambahan pupuk kandang domba. Takaran fosfat alam bisa dikurangi 50% dari 200 kg P_2O_5 ha⁻¹ menjadi 100 kg P_2O_5 dengan hasil pertumbuhan dan produksi buah mentimun yang hampir sama. Hal ini diduga disebabkan karena meningkatnya aktivitas bakteri pelarut fosfat dan mikoriza, selain karena pengaruh asam organik.

Melon, salah satu tanaman buah komersial, memerlukan asupan hara P yang tinggi. Setiadi (1999) melaporkan bahwa tanaman melon membutuhkan pupuk P 1.990 kg TSP ha⁻¹ atau 2.543 kg SP-36 ha⁻¹, sedangkan untuk pupuk N hanya 1.430 kg urea ha⁻¹ dan pupuk K 490 kg KCl ha⁻¹. Penggunaan fosfat alam sebagai sumber P akan jauh mengurangi biaya pembelian pupuk dibandingkan menggunakan SP-36, dengan hasil yang sama. Hasil penelitian Anggriani (2009) menunjukkan bahwa penggunaan fosfat alam mampu mencukupi 80% kebutuhan tanaman P tanaman melon bila diberikan pada takaran yang sama dibandingkan SP-36. Tanaman rambutan dan jeruk yang banyak ditanam di guludan surjan pada lahan sulfat masam di Kalimantan Selatan. Hasil komunikasi pribadi dengan petani di Barambai menunjukkan bahwa petani memberikan fosfat alam 3 – 5 kg/pohon, menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan SP-36 dengan takaran yang setara. Hasil yang lebih baik akan dicapai bila fosfat alam dikombinasikan dengan kompos jerami atau rumpun purun.

PENUTUP

Kemasaman yang tinggi merupakan salah satu kendala dalam melakukan aktivitas usaha tani di lahan sulfat masam. Kemasaman yang tinggi akan memicu munculnya kendala lainnya seperti meningkatnya kelarutan unsur beracun bagi tanaman seperti Al dan Fe dan kahat unsur hara, terutama P. Namun kemasaman yang tinggi ini justru memberikan keuntungan bagi pemanfaatan fosfat alam sebagai sumber pupuk P. Pemupukan P menggunakan fosfat alam untuk tanaman pangan dan hortikultura di lahan sulfat masam memiliki prospek yang sangat baik. Hal ini dikarenakan kelarutan P dari fosfat alam akan meningkat bila diaplikasikan pada tanah masam. Selain itu fosfat alam juga mengandung CaCO_3 atau MgCO_3 yang cukup besar sehingga memiliki efek ameliorasi untuk meningkatkan pH tanah dan mensuplai unsur hara sekunder seperti Ca dan Mg. Efektivitas fosfat alam, baik dari dalam negeri maupun luar negeri, yang diaplikasikan untuk tanaman pangan maupun hortikultura sudah terbukti dan cukup tinggi, bahkan kadang-kadang melebihi efektivitas SP-36. Namun demikian, penggunaan secara masal oleh petani di lahan sulfat masam masih tergolong rendah. Hal ini disebabkan karena perdagangan pupuk ini masih terbatas dan lebih populer di lahan perkebunan lahan kering masam. Selain itu bentuk pupuk fosfat alam pada umumnya masih berbentuk bubuk (*ground*) 80 mesh sehingga aplikasinya lebih sulit dibandingkan pupuk granul. Bentuk bubuk juga mengesankan pupuk fosfat alam seperti tanah sehingga menimbulkan keraguan petani akan efektivitasnya. Oleh karena itu, diperlukan kebijakan reorientasi distribusi dan penggunaan pupuk fosfat alam untuk petani di lahan sulfat masam. Fosfat alam yang diperdagangkan sebaiknya dibuat dalam bentuk granul agar petani lebih yakin dan lebih mudah mengaplikasikannya.

PEMANFAATAN FOSFAT ALAM PADA LAHAN GAMBUT

Wiwik Hartatik

PENDAHULUAN

Pemanfaatan lahan gambut untuk budi daya pertanian dapat berhasil apabila dikelola dengan konsep dan teknologi yang tepat, serta mengikuti kaidah-kaidah pengelolaan berkelanjutan. Pengelolaan lahan yang baik dengan menerapkan teknologi yang tepat sesuai dengan karakteristik gambut, diharapkan dapat membuat lahan gambut menjadi lahan pertanian berproduktivitas tinggi, berkelanjutan dan berwawasan lingkungan.

Luas lahan gambut di Indonesia diperkirakan 13 juta ha yang dibedakan ke dalam gambut dangkal, sedang, dan sangat dalam (Widjaja-Adhi *et al.*, 1992). Lahan gambut pada umumnya dimanfaatkan untuk tanaman pangan maupun perkebunan, walaupun tingkat produksinya masih rendah. Tanah gambut digolongkan ke dalam tanah marginal. Hal ini dicirikan dengan reaksi tanah yang masam hingga sangat masam, ketersediaan hara dan kejenuhan basa yang rendah dan kandungan asam-asam organik yang tinggi, terutama derivat asam fenolat sehingga bersifat racun bagi tanaman (Tadano *et al.*, 1990; Rachim, 1995; Prasetyo, 1996; Salampak, 1999).

Prospek penggunaan fosfat alam yang berkadar besi tinggi sebagai sumber P pada lahan gambut diharapkan cukup baik dibandingkan SP-36. Fosfat alam yang diberikan ke dalam tanah gambut dapat melepaskan fosfat secara lambat (*slow release*) dan mempunyai pengaruh residu sehingga dapat meningkatkan efisiensi pemupukan fosfat. Kation besi ini dapat menimbulkan tapak erapan baru pada gambut sehingga ikatan fosfat menjadi lebih kuat dan tidak mudah lepas.

Kualitas pupuk fosfat alam dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu sifat mineralogi, kelarutan, besar butir, kadar karbonat bebas, kadar P_2O_5 total dan jenis asal deposit batuan fosfat. Efektivitas penggunaan fosfat alam sangat ditentukan oleh reaktivitas kimia, ukuran butir, sifat-sifat tanah, waktu dan metode aplikasi, tingkat penggunaan fosfat alam, jenis tanaman dan pola tanam (Lehr dan McClean, 1972; Chien, 1995).

Karakteristik Lahan Gambut

Tanah gambut merupakan tanah yang tersusun dari bahan organik, baik dengan ketebalan > 45 cm ataupun terdapat secara berlapis bersama tanah mineral pada ketebalan 80 cm serta mempunyai tebal lapisan bahan organik > 50 cm. Tanah gambut atau tanah organik dikenal juga sebagai Organosol atau Histosol.

Berdasarkan proses dan lokasi pembentukannya, tanah gambut dipilah menjadi: (a) gambut pantai atau pasang surut, yaitu gambut yang dominan dipengaruhi oleh pasang surut air laut; (b) gambut pedalaman, yaitu gambut yang tidak dipengaruhi oleh pasang surut air laut; dan (c) gambut peralihan (transisi), yaitu gambut yang terdapat di antara gambut pantai dan gambut pedalaman.

Widjaja-Adhi (1988) menggolongkan tanah gambut berdasarkan ketebalan bahan organik, tanah yang mempunyai ketebalan gambut < 50 cm sebagai tanah bergambut. Selanjutnya tanah gambut dibedakan berdasar kedalamannya, yaitu: gambut dangkal (50-100 cm), gambut sedang (100-200 cm), gambut dalam (200-300 cm), dan gambut sangat dalam (>300 cm). Tanah-tanah lainnya yang tergolong ke dalam tanah yang banyak mengandung bahan organik dan terletak di dataran aluvium ialah tanah gley humus yaitu tanah-tanah yang memiliki ketebalan gambut < 30 cm dengan kadar karbon antara 15 hingga 30% (Koswara, 1973).

Berdasarkan tingkat pelapukan, ketebalan lapisan bahan organik, suhu dan kelembapan, maka diperkirakan sebagian besar tanah gambut yang ada di Indonesia diklasifikasikan sebagai Tropohemist atau Troposaprist, dan sedikit Sulfihemist (Tim Institut Pertanian Bogor, 1976; Radjaguguk, 1997).

Sifat Fisik Tanah Gambut

Sifat fisik tanah gambut yang berpengaruh dalam pemanfaatannya untuk pertanian yaitu daya menahan beban (*bearing capacity*), penurunan permukaan gambut (*subsiden*), mengering tidak balik (*irreversible drying*), kadar air dan berat isi (BD).

Daya menahan beban (bearing capacity)

Daya menahan beban tanah gambut umumnya sangat rendah, hal ini berkaitan dengan berat isi gambut yang rendah. Daya topang terhadap tanaman terutama tanaman tahunan tidak kuat sehingga sering dijumpai tanaman kelapa sawit, kelapa tumbuh miring (tidak dapat berdiri tegak).

Penurunan permukaan gambut (subsiden)

Lahan gambut dengan bertambahnya waktu semakin habis, hal ini akibat adanya penurunan permukaan gambut (*subsiden*). Penyebab terjadinya *subsiden* antara lain proses dekomposisi, dehidrasi yaitu penyusutan volume gambut karena didrainase. Penyusutan gambut sangat tergantung kematangan/tingkat dekomposisi gambut dan kedalaman saluran drainase. Gambut fibrist lebih cepat mengalami *subsiden* dibanding *saprist*. *Subsiden* gambut bisa mencapai 2 – 6 cm/tahun.

Mengering tidak balik (irreversible drying)

Sifat fisik tanah gambut mengering tidak balik yang tidak bisa menyerap air bila dibasahi sehingga mudah hanyut dibawa aliran air dan mudah terbakar dalam kondisi kering. Sifat kering

tidak balik menyebabkan hilangnya fungsi kimia gambut sebagai koloid/tempat pertukaran kation, sehingga gambut tersebut tidak dapat berfungsi lagi sebagai media tanam.

Kadar air dan berat isi (BD)

Kadar air gambut berkisar 100 – 1,300% dari berat keringnya yang berarti gambut mampu menyerap air sampai 13 kali bobotnya. Dalam kondisi jenuh, kadar air tanah gambut dapat mencapai 450–3.000% dari bobot keringnya (Soil Survey Staff, 1975). Oleh karena itu gambut merupakan tempat untuk menyimpan air yang efektif. Pengaturan permukaan air tanah pada tanah gambut sangat penting dalam mempertahankan kelembapan gambut. BD gambut umumnya rendah dan tergantung tingkat dekomposisi gambut. BD gambut fibrist kurang dari $0,1 \text{ g cm}^{-3}$ dan gambut saprist berkisar $0,2 \text{ g cm}^{-3}$ bila dibandingkan dengan tanah mineral umumnya mempunyai BD $1,2 \text{ g cm}^{-3}$, sehingga kandungan unsur hara tanah gambut persatuan volume sangat rendah.

Sifat Kimia Tanah Gambut

Sifat kimia gambut yang penting yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman yaitu kemasaman tanah, kapasitas tukar (KTK) kation dan basa-basa, fosfor, unsur mikro, komposisi kimia dan asam fenolat gambut.

Kemasaman Tanah

Tingkat kemasaman tanah gambut berhubungan erat dengan kandungan asam-asam organiknya, yaitu asam humat dan asam fulvat (Andriese, 1974; Miller dan Donahue, 1990). Bahan organik yang telah mengalami dekomposisi mempunyai gugus reaktif seperti karboksil ($-\text{COOH}$) dan fenol ($\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$) yang mendominasi kompleks pertukaran dan dapat bersifat sebagai asam lemah sehingga dapat terdisosiasi dan menghasilkan ion H

dalam jumlah banyak. Diperkirakan bahwa 85 – 95% muatan pada bahan organik disebabkan karena kedua gugus karboksil dan fenol tersebut.

Tanah gambut di Indonesia sebagian besar bereaksi masam hingga sangat masam dengan $\text{pH} < 4,0$. Hasil penelitian Halim (1987) dan Salampak (1999) diperoleh nilai kisaran $\text{pH H}_2\text{O}$ (1:5) tanah gambut pedalaman Berengbengkel Kalimantan Tengah sebesar 3,25 hingga 3,75. Sedangkan $\text{pH H}_2\text{O}$ tanah gambut dari Air Sugihan Kiri Sumatera Selatan lebih tinggi yaitu sebesar 4,1 – 4,3 (Hartatik *et al.*, 2000).

Kapasitas Tukar Kation dan Basa-basa

Nilai kapasitas tukar kation tanah gambut umumnya tinggi, hal ini disebabkan oleh muatan negatif bergantung pH yang sebagian besar dari gugus karboksil dan gugus hidroksil dari fenol (Driessen dan Soepraptohardjo, 1974). Menurut Andriessse (1974) dan Driessen (1978), KTK tanah gambut ombrogen di Indonesia sebagian besar ditentukan oleh fraksi lignin dan senyawa humat (Tabel 24). Tanah gambut di Indonesia, terutama tanah gambut ombrogen mempunyai komposisi vegetasi penyusun gambut yang didominasi oleh tumbuhan yang berasal dari bahan kayu-kayuan. Bahan kayu-kayuan umumnya banyak mengandung senyawa lignin yang dalam proses degradasinya akan menghasilkan asam-asam fenolat (Stevenson, 1984).

Kandungan kation basa-basa (Ca, Mg, K, dan Na) umumnya terdapat dalam jumlah yang rendah terutama pada gambut tebal. Semakin tebal gambut, kandungan abu semakin rendah, kandungan Ca dan Mg menurun dan reaksi tanah menjadi lebih masam (Driessen dan Soepraptohardjo, 1974). Kandungan basa-basa yang rendah disertai dengan nilai KTK yang tinggi, sehingga ketersediaan basa-basa menjadi rendah. Rendahnya kandungan basa-basa pada gambut pedalaman berhubungan erat dengan proses pembentukannya yang lebih banyak dipengaruhi

oleh air hujan (Leiwakabessy, 1978). Kejenuhan basa (KB) tanah gambut pedalaman pada umumnya sangat rendah. Tanah gambut pedalaman Berengbengel Kalimantan Tengah mempunyai nilai KB kurang dari 10% (Tim Institut Pertanian Bogor, 1974), demikian juga nilai KB tanah gambut dataran rendah Riau (Suhardjo dan Widjaja-Adhi, 1976).

Tabel 24. Komposisi gambut ombrogen di Indonesia dan kapasitas tukar kation (Driessen, 1978)

Komposisi	Bobot	KTK
	%	me 100g ⁻¹
Lignin	64-74	150-180
Senyawa humik	10-20	40-80
Selulosa	0,2-10	7
Hemiselulosa	1-2	1-2
Lainnya	<5	-
Bahan organik gambut	100	190-270

Kesuburan alamiah tanah gambut sangat beragam, tergantung pada beberapa faktor: (a) ketebalan lapisan tanah gambut dan tingkat dekomposisi; (b) komposisi tanaman penyusunan gambut; dan (c) tanah mineral yang berada di bawah lapisan tanah gambut (Andriessse, 1974). Polak (1949) menggolongkan gambut ke dalam tiga tingkat kesuburan yang didasarkan pada kandungan P₂O₅, CaO, K₂O dan kadar abunya, yaitu: (1) gambut eutrofik dengan tingkat kesuburan yang tinggi; (2) gambut mesotrofik dengan tingkat kesuburan yang sedang; dan (3) gambut oligotrofik dengan tingkat kesuburan yang rendah (Tabel 25).

Gambut di Indonesia umumnya merupakan gambut ombrogen, terutama gambut pedalaman yang terdiri atas gambut tebal dan miskin akan unsur hara, digolongkan ke dalam tingkat oligotrofik (Radjaguguk, 1997). Sedangkan pada gambut pantai

pada umumnya tergolong ke dalam gambut eutrofik karena adanya pengaruh air pasang surut.

Tabel 25. Kandungan hara pada tiga tingkat kesuburan gambut

Tingkat kesuburan	Kandungan			
	P ₂ O ₅	CaO	K ₂ O	Abu
	————— % bobot kering gambut —————			
Eutrofik	> 10	> 0,25	> 4,0	> 0,10
Mesotrofik	5-10	0,20-0,25	1-4,0	0,10
Oligotrofik	< 5	0,05-0,20	0,25-1	0,03-0,1

Fosfor

Unsur fosfor (P) pada tanah gambut sebagian besar dijumpai dalam bentuk P-organik, yang selanjutnya akan mengalami proses mineralisasi menjadi P-inorganik oleh jasad mikro. Sebagian besar senyawa P-organik berada dalam bentuk ester ortofosfat, sebagian lagi dalam bentuk mono dan diester. Ester yang telah diidentifikasi terdiri atas inositol fosfat, fosfolipid, asam nukleat, nukleotida, dan gula fosfat. Ketiga senyawa pertama bersifat dominan.

Fraksi P organik diperkirakan mengandung 2,0% P sebagai asam nukleat, 1,0% sebagai fosfolipid, 35% inositol fosfat dan sisanya belum teridentifikasi. Di dalam tanah, pelepasan inositol fosfat sangat lambat dibandingkan ester lainnya, sehingga senyawa ini banyak terakumulasi, dan kadarnya di dalam tanah menempati lebih dari setengah P organik atau kira-kira seperempat total P tanah. Senyawa inositol heksafosfat dapat bereaksi dengan Fe atau Al membentuk garam yang sukar larut, demikian juga terhadap Ca. Dalam keadaan demikian, garam ini sukar didegradasi oleh mikroorganisme (Stevenson, 1984).

Unsur Mikro

Pada tanah gambut kandungan unsur mikro umumnya terdapat dalam jumlah yang sangat rendah, dan dapat menyebab-

kan gejala defisiensi bagi tanaman. Group karboksilat dan fenolat pada tapak reaktif tanah gambut dapat membentuk senyawa kompleks dengan unsur mikro, sehingga mengakibatkan unsur mikro menjadi tidak tersedia bagi tanaman. Selain itu adanya kondisi reduksi yang kuat menyebabkan unsur mikro direduksi menjadi bentuk logamnya yang tidak bermuatan. Menurut Driessen (1978) kandungan unsur mikro tanah gambut pada lapisan bawah umumnya lebih rendah dibandingkan lapisan atas. Namun dapat juga kandungan unsur mikro pada lapisan bawah dapat lebih tinggi apabila terjadi pencampuran dengan bahan tanah mineral yang ada di lapisan bawah gambut tersebut.

Komposisi Kimia Gambut

Tanah gambut tebal di Indonesia umumnya mengandung < 5% fraksi inorganik dan sisanya fraksi organik yaitu lebih dari 95%. Fraksi organik terdiri senyawa-senyawa humat sekitar 10 hingga 20%, sebagian besar terdiri atas senyawa-senyawa non-humat yang meliputi senyawa lignin, selulosa, hemiselulosa, lilin, tannin, resin, suberin, sejumlah kecil protein dan lain-lain. Sedangkan senyawa-senyawa humat terdiri atas asam humat, himatomelanat dan humin (Stevenson, 1984; Tan, 1993).

Tabel 26. Komposisi gambut hutan tropika tipe sangat masam (Hardon dan Polak, 1941 *dalam* Polak, 1975)

Komponen	Asal gambut	
	Sumatera	Kalimantan
	———— % bahan kering ————	
Komponen gambut		
Larut dalam:		
Eter	4,67	2,50
Alkohol	4,75	6,65
Air	1,87	0,87
Hemiselulosa	1,95	1,95
Selulosa	10,61	3,61
Lignin	63,99	73,67
Protein	4,41	3,85

Polak (1975) mengemukakan bahwa gambut yang ada di Sumatera dan Kalimantan umumnya didominasi oleh bahan kayu-kayuan. Oleh karena itu komposisi bahan organiknya sebagian besar adalah lignin yang umumnya melebihi 60% dari bahan kering, sedangkan kandungan komponen lainnya seperti selulosa, hemiselulosa dan protein umumnya tidak melebihi 11% (Tabel 26).

Asam-asam Fenolat dalam Tanah Gambut

Dekomposisi bahan organik dalam keadaan anaerob akan menghasilkan beberapa senyawa dan gas, antara lain adalah metan, hidrogen sulfida, etilen, asam asetat, asam butirat, asam laktat, dan asam-asam organik lainnya seperti asam-asam fenolat. Sebagian besar dari asam-asam ini bersifat racun bagi tanaman (Tsutsuki dan Ponnampereuma, 1987, Tsutsuki dan Kondo, 1995). Tanah-tanah gambut di Indonesia mempunyai kandungan lignin yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah-tanah gambut yang berada di daerah yang beriklim sedang (Driessen dan Suhardjo, 1976; Driessen, 1978). Lignin tersebut akan mengalami proses degradasi menjadi senyawa humat, dan selama proses degradasi tersebut akan dihasilkan asam-asam fenolat (Kononova, 1968).

Beberapa jenis asam fenolat yang umum dijumpai dalam tanah adalah asam vanilat, *p*-kumarat, *p*-hidroksibenzoat, salisilat, galat, sinapat, gentisat, dan asam syringat (Tsutsuki, 1984). Asam-asam fenolat tersebut berpengaruh langsung terhadap proses biokimia dan fisiologi tanaman, serta penyediaan hara di dalam tanah. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa asam-asam fenolat bersifat fitotoksik bagi tanaman dan menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat (Driessen, 1978; Stevenson, 1984; Tsutsuki, 1984).

Pemanfaatan Fosfat Alam pada Tanah Gambut

Penelitian penggunaan fosfat alam terhadap tanaman jagung pada gambut Kelampangan, Kalteng yang baru dibuka

dengan pH 4,3 dan P-Bray I 10 ppm menunjukkan bahwa pemupukan fosfat alam cenderung memberikan hasil yang lebih baik dari SP-36. Walaupun hasil yang diperoleh belum maksimal, namun terdapat kecenderungan bahwa fosfat alam *Christmas* yang mengandung seskuoksida tinggi memberikan hasil yang lebih baik dari fosfat alam Ciamis dan SP-36. Adanya seskuoksida (Al_2O_3 dan Fe_2O_3) yang tinggi, akan meningkatkan ketersediaan hara P, sehingga dapat diserap tanaman. Tabel 27 menunjukkan bahwa P-alam Ciamis memberikan hasil yang lebih baik dari SP-36 (Subiksa *et al.*, 1997).

Tabel 27. Pengaruh sumber dan takaran P terhadap hasil jagung

Perlakuan	Hasil jagung ku ha ⁻¹	RAE %
Kontrol	0,48 a	
KSP	2,47 de	510
KSP	1,02 abc	138
KSP	1,77 b-e	331
SP-36 1 + kaptan	0,52 a	10
SP-36 2 + kaptan	0,87 ab	100
SP-36 3 + kaptan	1,05 abc	146
SP-36 1 + kapur fosfatan	2,08 cde	410
SP-36 2 + kapur fosfatan	2,00b-e	390
SP-36 3 + kapur fosfatan	2,80 e	595
Fosfat alam Ciamis 1 + kaptan	1,95 b-e	377
Fosfat alam Ciamis 2 + kaptan	2,30 de	467
Fosfat alam Ciamis 3 + kaptan	0,88 ab	103

Sumber: Subiksa *et al.*, 1997

Penelitian respon tanaman jagung terhadap pemupukan P pada lahan gambut Sugihan Kiri, Sumatera Selatan menggunakan beberapa sumber pupuk P yaitu fosfat alam Maroko, *Christmas*, dan *Christmas* dikombinasikan dengan abu batu bara, dengan takaran pupuk P yaitu 0, 25, 50 dan 100 kg P ha⁻¹, dan takaran abu

batu bara 700 kg ha⁻¹. Pupuk dasar yang digunakan urea 200 kg ha⁻¹, KCl 100 kg ha⁻¹ dan 2 t ha⁻¹ kapur. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pemupukan P meningkatkan hasil jagung dan fosfat alam Maroko nyata lebih baik dibandingkan fosfat alam *Christmas*, sedangkan abu batu bara tidak menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap hasil jagung (Sholeh *et al.*, 2000).

Pemanfaatan batuan fosfat alam (BFA) terhadap tanaman padi di rumah kaca menggunakan tanah gambut dari Rawa Jitu, Lampung Utara menunjukkan bahwa jumlah anakan maksimum dan anakan produktif yang dipupuk oleh BFA nyata lebih tinggi dari TSP. Pemupukan P baik dari BFA dan TSP meningkatkan bobot gabah 1.000 butir, serapan N dan P jerami, serapan N dan K gabah dan kadar P tersedia tanah (Sarno *et al.*, 1996).

Pengelolaan hara terpadu terhadap tanaman padi, pada lahan sulfat masam potensial bergambut di Lamunti A-1 Blok F Kalimantan Tengah, menunjukkan bahwa kombinasi pemupukan Urea 150 kg ha⁻¹, fosfat alam *Christmas* 200 kg ha⁻¹ dan KCl 100 kg ha⁻¹ nyata meningkatkan bobot gabah kering sebesar 3,5 t ha⁻¹ (Tabel 28). Pemberian kapur dan pupuk kandang mampu meningkatkan pH dan menurunkan Al dapat ditukar (Hartatik *et al.*, 2001).

Pengaruh pemberian beberapa jenis fosfat alam atau SP-36 pada tanah gambut yang diberi bahan amelioran tanah mineral terhadap pertumbuhan dan serapan P tanaman padi menunjukkan bahwa fosfat alam Ciamis takaran 50% erapan maksimum P memberikan bobot kering tanaman yang cukup tinggi hampir menyamai SP-36. Fosfat alam Ciamis meningkatkan bobot kering tanaman sebesar 82% dibandingkan kontrol. Fosfat alam Maroko dan *Christmas* umumnya memberikan bobot kering tanaman yang rendah yang tidak berbeda nyata dengan kontrol (Tabel 29). Perlakuan fosfat alam Maroko dan *Christmas* memberikan bobot kering tanaman yang lebih rendah, hal ini disebabkan adanya dominasi asam p-hidroksi benzoat dan p-kumarat yang menghambat pertumbuhan dan bobot kering tanaman. Pemberian

SP-36 meningkatkan bobot kering tanaman sebesar 158% dibandingkan kontrol dan memberikan bobot kering tanaman lebih tinggi daripada fosfat alam. Hal ini berkaitan dengan rendahnya asam p-kumarat dan p-hidroksi benzoat dan tingginya P yang diserap tanaman, sehingga pertumbuhan dan bobot kering tanaman lebih optimum dibandingkan perlakuan fosfat alam.

Tabel 28. Bobot gabah dan jerami kering penelitian pengelolaan hara terpadu pada lahan sulfat masam potensial bergambut di Kalimantan Tengah

Perlakuan	Bobot gabah kering	Bobot jerami kering
	ku ha ⁻¹	
N0P1K1	16,30 c	14,30 e
N1P1K1	35,43 ab	29,43 bcd
N2P1K1	33,67 ab	43,87 a*
N1P0K1	36,17 ab	32,47 abcd
N1P2K1	28,37 b	26,43 bcde
N1P1K0	31,10 ab	22,10 cde
N1P1K2	35,80 ab	30,70 abcd
N2P2K2	38,20 a	34,77 abc
N1P1K1L + BO	30,80 ab	30,97 abcd
N2P2K2L + BO	35,27 ab	38,27 ab
N1P1K1Zn+L	28,33 b	18,93 de
N1P1K1ZnCu+L	28,50 b	23,60 cde
N1P1K1ZnL + BO	32,20 ab	27,60 bcde
N1P1K1ZnCuL + BO	32,70 ab	26,77 bcde
N1P1K1 + BO+E138	32,27 ab	29,27 bcd
N1P1K1 + BO+E2001	32,20 ab	25,10 bcde

*Angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5% uji DMRT
Sumber: Hartatik *et al.*, (2001)

Serapan P total tanaman cenderung meningkat dengan pemberian bahan amelioran. Adanya kation Fe dalam bahan amelioran akan meningkatkan ikatan antara P dan asam-asam organik melalui jembatan kation, sehingga P dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Perlakuan SP-36 meningkatkan serapan P total sebesar 210% dibandingkan dengan kontrol. Serapan P total yang tinggi pada perlakuan SP-36 ini berkaitan erat dengan rendahnya konsentrasi asam p-kumarat dan p-hidroksi benzoat, sehingga perakaran tanaman padi relatif berkembang karena pengaruh

racun asam-asam organik tersebut relatif kecil. Sedangkan pada fosfat alam Ciamis takaran 50% meningkatkan serapan P sebesar 106% dibandingkan dengan kontrol. Fosfat alam Maroko dan *Christmas*, serapan P agak terhambat karena perakaran tanaman sebagian telah teracuni oleh asam-asam fenolat. Menurut Tadano *et al.* (1992) konsentrasi asam-asam fenolat yang tinggi menyebabkan serapan P, K, Cu dan Zn oleh tanaman padi menurun. Fenomena ini menunjukkan bahwa kurang optimalnya pengaruh fosfat alam terhadap pertumbuhan tanaman padi dan serapan P disebabkan karena pengaruh racun asam-asam fenolat masih lebih dominan dibandingkan dengan perbaikan terhadap perlakuan P dari fosfat alam.

Tabel 29. Rataan bobot kering tanaman dan gabah serta serapan P total padi IR 64 akibat pemberian beberapa jenis fosfat alam atau SP-36 pada tanah gambut yang diberi bahan amelioran tanah mineral

Perlakuan	Bobot kering tanaman g pot ⁻¹	Serapan P total mg pot ⁻¹
Kontrol - TM	1,17 d*	5,88 d
Kontrol	1,85 cd	8,05 cd
Maroko 50%	1,72 cd	10,47 cd
Maroko 100%	1,44 cd	12,79 cd
Maroko 150%	1,74 cd	10,69 cd
<i>Christmas</i> 50%	1,83 cd	7,76 cd
<i>Christmas</i> 100%	1,13 d	7,43 cd
<i>Christmas</i> 150%	1,91 cd	10,02 cd
Ciamis 50%	3,37 bc	16,57 bc
Ciamis 100%	1,01 d	7,97 cd
Ciamis 150%	1,47 cd	14,17 cd
SP-36 50%	4,77 ab	24,98 ab
SP-36 100%	5,87 a	27,31 a
SP-36 150%	4,26 ab	34,93 a

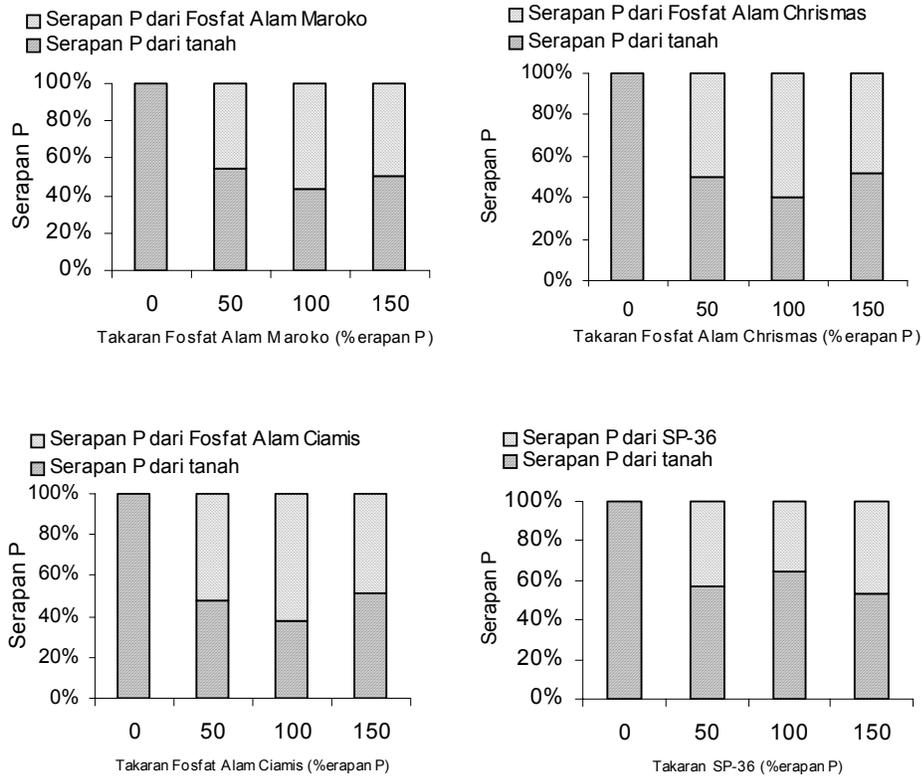
* Angka yang selanjur diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf 5%

Sumber: Hartatik (1998)

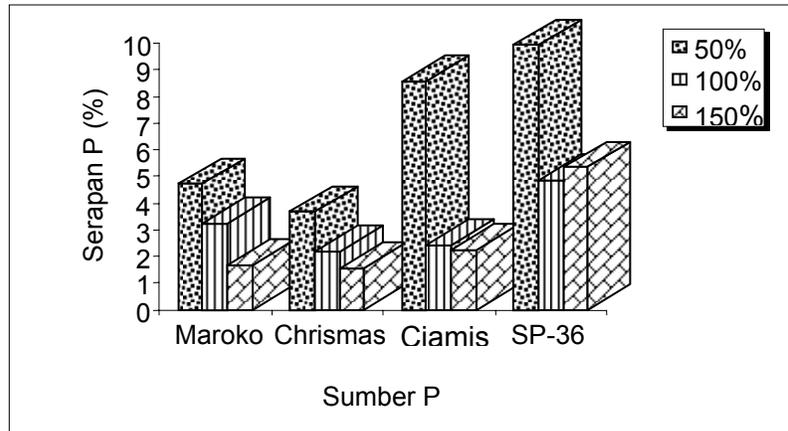
Dari fraksi serapan P tanaman dengan menggunakan isotop ^{32}P dapat diketahui secara kuantitatif dan proporsional jumlah fosfor yang diserap tanaman, baik yang berasal dari tanah gambut maupun dari pupuk P. Proporsi hara P yang diserap tanaman padi dari tanah gambut dan pupuk disajikan pada Gambar 6. Rataan persentase serapan P dari fosfat alam Maroko, *Christmas*, Ciamis dan SP-36 masing-masing sebesar 50,19; 52,96; 54,48; dan 41,92%. Sedangkan rata-rata persentase serapan P dari tanah gambut masing-masing sebesar 49,81; 47,04; 45,52; dan 58,08%. Secara umum perlakuan pemberian fosfat alam memberikan persentase serapan P dari fosfat alam sedikit lebih tinggi dari persentase serapan P dari tanah gambut dan sebaliknya pada perlakuan SP-36 persentase serapan P dari tanah gambut sedikit lebih tinggi dari persentase serapan P dari SP-36. Tingginya serapan P dari tanah gambut pada perlakuan SP-36 kemungkinan disebabkan karena SP-36 merupakan pupuk P yang mudah larut, sehingga sebagian P digunakan oleh mikroba sebagai hara atau energi untuk mendekomposisi gambut, sehingga proses mineralisasi P sedikit lebih tinggi dari perlakuan fosfat alam (Stevenson, 1984).

Peningkatan takaran SP-36 sampai takaran 150% erapan P meningkatkan serapan P dari SP-36. Keragaan pertumbuhan tanaman padi akibat pemberian bahan amelioran dan SP-36 lebih baik karena didukung oleh kondisi perakaran yang lebat dan sehat sehingga serapan P baik dari pupuk maupun tanah gambut tidak terhambat. Sedangkan pada perlakuan fosfat alam terutama fosfat alam *Christmas* kondisi perakaran memendek dan kurang lebat akibat pengaruh fitotoksik dari asam-asam organik sehingga serapan P baik dari fosfat alam dan tanah gambut terganggu yang berakibat pertumbuhan tanaman kerdil. Persentase serapan P dengan metode isotop perlakuan pemberian bahan amelioran dan SP-36 memberikan persentase serapan P lebih tinggi dari fosfat alam. Persentase serapan P pada perlakuan pemberian bahan

amelioran dan SP-36 takaran 50, 100, 150% erapan P masing-masing sebesar 9,94, 4,85 dan 5,35% (Gambar 6). Tanah gambut mempunyai afinitas yang lemah terhadap hara yang berbentuk anion maupun kation, sehingga pemupukan P pada tanah gambut dengan pupuk P yang mudah larut seringkali tidak memberikan respon yang nyata, hal ini disebabkan sebagian P yang diberikan akan tercuci, dan tidak terserap tanaman.



Gambar 6. Pengaruh pemberian beberapa jenis fosfat alam atau SP-36 pada tanah gambut yang diberi bahan amelioran tanah mineral terhadap proporsi serapan P oleh tanaman padi (Hartatik, 1998)



Gambar 7. Persentase serapan P akibat pemberian beberapa jenis fosfat alam atau SP-36 pada tanah gambut yang diberi bahan amelioran tanah mineral (Hartatik, 1998)

Lebih besarnya persentase serapan P dari SP-36 sejalan dengan bobot kering tanaman dan serapan P yang lebih tinggi dibandingkan fosfat alam Maroko, *Christmas* dan Ciamis. Di antara beberapa jenis fosfat alam yang dicoba, fosfat alam Ciamis takaran 50% memberikan persentase serapan P yang paling tinggi yaitu sebesar 8,55 hampir menyamai SP-36 pada takaran yang sama (Gambar 7). Peningkatan takaran fosfat alam dan SP-36 menurunkan persentase serapan P. Rasjid *et al.* (1997) melaporkan hasil senada bahwa peningkatan takaran fosfat alam atau SP-36 menurunkan persentase serapan P untuk tanaman padi-kedelai dan kacang hijau yang ditanam berurutan. Lahan gambut selain memerlukan ameliorasi juga memerlukan pemupukan NPK serta hara mikro Cu dan Zn, karena tanah gambut mempunyai afinitas yang lemah terhadap kation maupun anion, sehingga pemberian pupuk harus dilakukan secara bertahap sesuai dengan masa pertumbuhan tanaman.

Pengaruh Pemberian Fosfat Alam terhadap Pencucian P

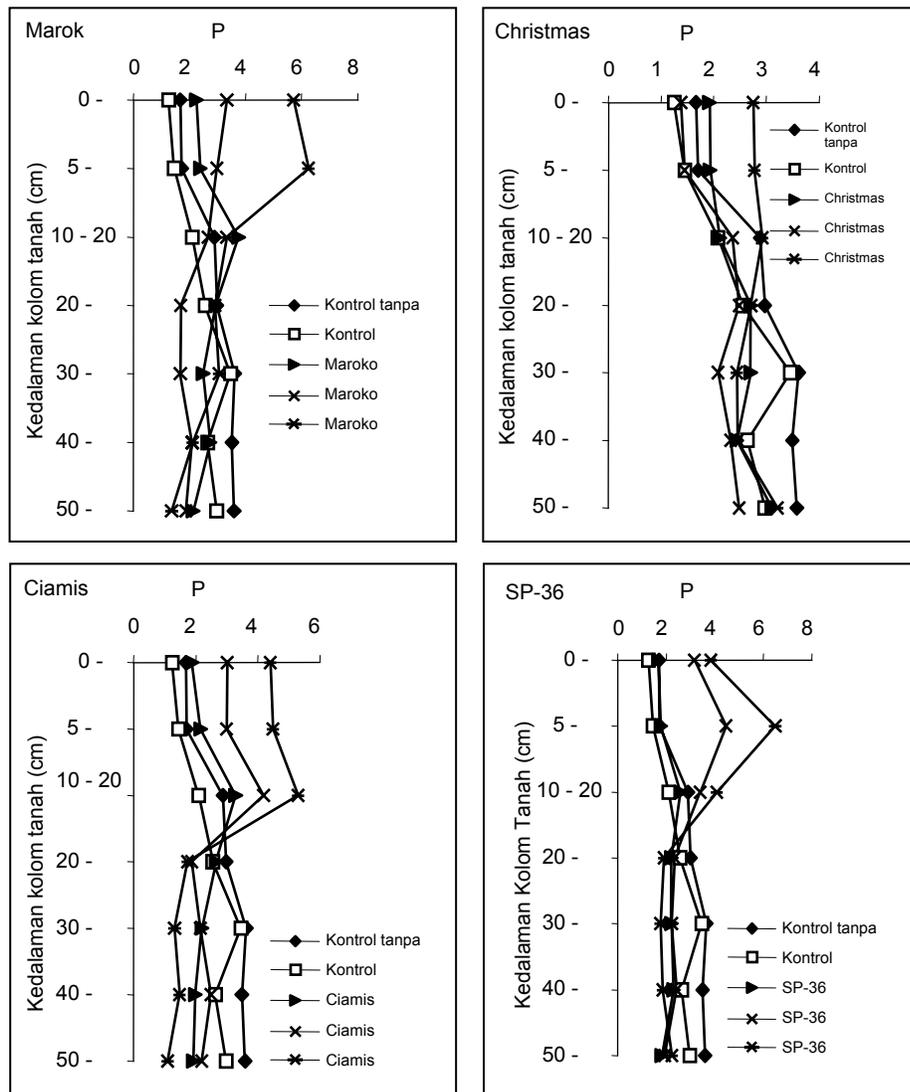
Pengaruh pemberian beberapa jenis fosfat alam atau SP-36 pada tanah gambut yang diberi bahan amelioran tanah mineral terhadap pencucian P dari kolom tanah menunjukkan bahwa

pemberian fosfat alam Maroko, Ciamis atau SP-36 pada tanah gambut yang diberi bahan amelioran tanah mineral menunjukkan akumulasi P pada lapisan atas. Dari hasil analisis kolom tanah setiap kedalaman 10 cm menunjukkan bahwa perlakuan pemberian fosfat alam Maroko, Ciamis atau SP-36 menyebabkan P lebih banyak terakumulasi pada kedalaman 5 hingga 20 cm. Nisbah kadar P kolom tanah antara kedalaman 0 hingga 30 cm dengan 30 hingga 60 cm masing-masing pada takaran 50, 100 dan 200% P yaitu 1,54; 1,90 dan 2,79 untuk fosfat alam Maroko dan 1,64; 1,76 dan 4,11 untuk fosfat alam Ciamis serta 1,31; 2,05 dan 2,79 untuk SP-36 (Gambar 8). Pemberian bahan amelioran dan pemupukan fosfat alam Maroko dan Ciamis akan meningkatkan P pada lapisan atas, sehingga P yang tercuci berkurang dibandingkan SP-36.

Sedangkan perlakuan fosfat alam *Christmas*, P terakumulasi pada kedalaman 30 hingga 40 cm, dengan nisbah kadar P kolom tanah antara kedalaman 0 hingga 30 cm dengan 30 hingga 60 cm pada takaran 50, 100, dan 200% P yaitu 1,05; 1,11 dan 1,38. Diduga hal ini berkaitan dengan rendahnya kelarutan fosfat alam tersebut dalam tanah. Adanya akumulasi P di lapisan bawah menunjukkan bahwa tidak ada peranan Fe dalam fosfat alam terhadap pengikatan P. Hal ini disebabkan karena besi terikat kuat dalam mineral apatit yang sukar larut.

Kolom tanah tanpa perlakuan bahan amelioran menunjukkan akumulasi P pada kedalaman 30 hingga 60 cm. Pemberian bahan amelioran mampu meningkatkan ikatan P dalam tanah gambut, sehingga P tidak mudah hilang tercuci dalam tanah. Diduga pemberian bahan amelioran akan membentuk tapak-tapak reaktif baru bagi P yang dihasilkan dari interaksi asam organik-Fe, sehingga terbentuk senyawa kompleks organik-Fe-P. Besi dari bahan amelioran berfungsi sebagai jembatan yang menghubungkan asam-asam organik dengan anion fosfat. Adanya kemampuan pengikatan P ini, kehilangan P dari dalam tanah dapat dikurangi,

sehingga efisiensi pemupukan P dalam tanah gambut dapat ditingkatkan. Hasil ini sesuai dengan percobaan yang dilakukan oleh Rachim (1995), Salampak (1999) dan Wild (1990) yang mengemukakan bahwa kation polivalen dapat menjembatani ikatan antara P dan asam-asam organik. Di antara sumber P, perlakuan fosfat alam Maroko memberikan kadar P dalam kolom tanah paling tinggi diikuti berturut-turut SP-36, Ciamis dan terendah *Christmas* (Hartatik, 1998).



Gambar 8. Pola distribusi fosfat dalam kolom tanah

PENUTUP

Pemanfaatan lahan gambut untuk kegiatan pertanian telah banyak dilakukan, tetapi produktivitas lahan umumnya lebih rendah bila dibandingkan dengan tanah mineral. Rendahnya produktivitas lahan disebabkan oleh adanya berbagai faktor pembatas, diantaranya kandungan asam-asam fenolat yang tinggi, sehingga bersifat racun bagi tanaman, kemasaman tanah yang tinggi, kapasitas tukar kation yang sangat tinggi dengan kejenuhan basa dan ketersediaan P sangat rendah.

Pemberian bahan amelioran ke dalam tanah gambut menurunkan kandungan beberapa derivat asam fenolat. Pemberian tanah mineral berkadar besi tinggi dapat mengurangi pengaruh buruk dari asam-asam fenolat selain itu penggunaan kation Fe dapat menimbulkan tapak erapan baru pada gambut sehingga ikatan fosfat menjadi lebih kuat dan tidak mudah lepas selanjutnya dapat mengkonservasi dan meningkatkan ketersediaan P. Pemberian bahan amelioran tanah mineral dengan takaran 7,5 erapan Fe maksimum dapat menurunkan konsentrasi asam-asam fenolat sampai di bawah batas toksik yang dapat meracuni tanaman.

Prospek penggunaan fosfat alam sebagai sumber P pada lahan gambut diharapkan cukup baik dibandingkan SP-36. Sifat gambut yang mempunyai kemampuan memegang hara yang rendah sehingga diperlukan pupuk yang bersifat *slow release* dan mempunyai pengaruh residu sehingga hara P dapat dimanfaatkan tanaman dan meningkatkan efisiensi pemupukan fosfat. Fosfat alam mempunyai komposisi dan karakteristik yang berbeda-beda. Efektivitas fosfat alam dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu sifat mineralogi, kelarutan, besar butir, ciri tanah, waktu, dan metode aplikasinya. Fosfat alam yang sesuai untuk tanah gambut yaitu yang mempunyai kadar P_2O_5 total dan kelarutan yang cukup tinggi, dengan takaran 50-100% erapan P, agar hara P dapat dimanfaatkan tanaman secara optimal dan memberikan efisiensi P yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriesse, J. P. 1974. Tropical peats in South East Asia. Dept. of Agric. Res of the Royal Trop. Inst. Comm. 63. Amsterdam. 63 p.
- _____, 1992. Constraints and opportunities for alternative use options of tropical peatland. pp. 1-6. *In Proc. Inter. Symp. Trop. Peatland.* MARDI, Malaysia.
- Chien, S.H. 1995. Seminar on the Use of Reactive Phosphate Rock for Direct Application. Pengedar Bahan Pertanian Sdn Bhd. Selangor. Malaysia.
- Driessen, P.M. 1978. Peat soils. pp 763-779. *In IRRI. Soil and rice.* IRRI. Los Banos. Philippines.
- _____. and H. Suhardjo. 1976. On the defective grain formation of sawah rice on peat. *Soil Res. Inst. Bull. 3: 20 – 44.* Bogor.
- _____. and M. Soepraptohardjo. 1974. Soil Agricultural expansion in Indonesia. *Bull. 1: 1-63.* Soil Res. Inst. Bogor.
- Halim, A. 1987. Pengaruh Pencampuran Tanah Mineral dan Basa dengan Tanah Gambut Pedalaman Kalimantan Tengah dalam Budidaya Tanaman Kedelai. Disertasi Fakultas Pascasarjana, IPB. Bogor. 322 hlm.
- Hartatik, 1998. Erapan Fosfat, Kelarutan Hara Makro dan Mikro serta Pengaruh Besi terhadap Padi Sawah. Tesis Program Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor.
- _____, IG.M. Subiksa, dan D.A. Suriadikarta. 2000. Ameliorasi lahan gambut di Air Sugihan Kiri Sumatera Selatan. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengembangan Pertanian di Lahan Rawa. Cipayung, 25-27 Juli 2000.
- Kononova. M. M. 1968. Transformation of organic matter and their relation to soil fertility. *Sov. Soil. Sci. (8) : 1.047 –1.056.*

- Koswara, O. 1973. Potensi dan pemanfaatan daerah pasang surut: suatu kasus di Sumatera. *Dalam* Seminar Pembangunan Fakultas Pertanian, IPB-Badan Pengendali Bimas, Departemen Pertanian.
- Lehr, J.R. and G. H. McClean. 1972. A Revised laboratory Reactivity Scale for Evaluating Phosphate Rock for Direct Application. Bull. 4 – 43. TVA. Alabama. U.S.A.
- Miller, M.H. And R. L. Donahue. 1990. Soils. An Introduction to Soils and Plant Growth. Prentice Hall Englewood Cliffs. New Jersey. 768 p.
- Polak, B. 1949. The Rawa Lakbok (South Priangan, Java). Investigation into the composition of an eutrophic topogenous bog. Cont. Gen. Agr. Res. Sta. No. 8, Bogor, Indonesia.
- _____, B. 1975. Character and occurrence of peat deposits in the Malaysian tropics. *In* G.J. Barstra, and W.A. Casparie (*Eds.*). Modern Quaternary Research in Southeast Asia. Balkema, Rotterdam.
- Prasetyo, T. B. 1996. Perilaku Asam-asam Organik Meraacun pada Tanah Gambut yang Diberi Garam Na dan Beberapa Unsur Mikro dalam Kaitannya dengan Hasil Padi. Disertasi. Program Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Rachim, A. 1995. Penggunaan Kation-kation Polivalen dalam Kaitannya dengan Ketersediaan Fosfat untuk Meningkatkan Produksi Jagung pada Tanah Gambut. Disertasi. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Radjagukguk, B. 1997. Peat soil of Indonesia: Location, classification, and problems for sustainability. pp. 45 – 54. *In* J.O. Rieley and S.E. Page (*Eds.*). Biodiversity and sustainability of tropical peat and peatland. Proceedings of the International Symposium on Biodiversity, environmental importance and sustainability of tropical peat and peatlands, Palangka Raya, Central Kalimantan 4 – 8 September 1999. Samara Publishing Ltd. Cardigan. UK.

- Rasjid, H., E.L.Sisworo, dan W.H. Sisworo 1997. Keefisienan fosfat alam sebagai pupuk p tanaman jagung. hlm. 95 – 98 *dalam* Risalah Pertemuan Ilmiah. Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi, Jakarta 18-19 Februari 1997. Buku 2 P3TIR – BATAN.
- Salampak, 1999. Peningkatan Produktivitas Tanah Gambut yang Disawahkan dengan Pemberian Bahan Amelioran Tanah Mineral Berkadar Besi Tinggi. Disertasi Program Pascasarjana, IPB Bogor.
- Saragih, E. S. 1996. Pengendalian Asam-asam Organik Meracun dengan Penambahan Fe (III) pada tanah gambut Jambi, Sumatera. Tesis S2. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Stevenson, F.J. 1984. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Suhardjo, H. and I P.G. Widjaja-Adhi. 1976. Chemical characteristics of the upper 30 cms of peat soils from Riau. ATA 106. Bull. 3: 74-92. Soil Res. Inst. Bogor.
- Tadano, T.K.Yonebayashi, and N. Saito. 1992 Effect of phenolic acids on the guo wth and occurrence of sterility in cnop plants. pp. 358 – 369. *In* K. Kyuma, P. Vijarnsorn, and A. Zakaria (*Eds*). Coastal lowland ecosystems in southern Thailand and Malaysia. Showado – printing co, Skyoku. Kyoto.
- _____, T., K.B. Ambak, K. Yonebayashi, T. Hara, P. Vijarnsorn, C. Nilnond, and S. Kawaguchi. 1990. Nutritional Factors Limiting Crop Growth in Tropical Peat Soils. In Soil Constraints on Sustainable Plant Production *in* the Tropics. Proc. 24th inter. Symp. Tropical Agric. Res. Kyoto.
- Tan. 1993. Principles of Soil Chemistry. Marcel Dekker, Inc. New York. 362 pp.

- Tim Institut Pertanian Bogor. 1974. Laporan Survei Produktivitas Tanah dan Pengembangan Pertanian daerah Palangka Raya, Kalimantan Tengah. Bogor.
- _____. 1976. Survei dan Pemetaan Tanah daerah Air Saleh, Sumatera Selatan. Proyek Pembukaan Persawahan Pasang Surut (P4S), Ditjen Pengairan Dep. Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik – Institut Pertanian Bogor.
- Tsutsuki, K. 1984. Volatile products and low-molecular-weight products of the anaerobic decomposition of organik matter. pp: 329-343 Inter. Rice Res. inst, Soil Organik Matter.
- _____. and F.N. Ponnampuruma. 1987. Behavior of anaerobic decomposition products in submerged soils. Soil Sci. and Plant Nutr. 3 (1): 13 – 33.
- _____. and R. Kondo. 1995. Lignin – derived phenolic compounds in different types of peat profiles in Hokkaido. Japan. Soil Sci. and Plant Nutr. 41 (3) : 515 – 527.
- Widjaja-Adhi, IP. G. 1988. Physical and chemical characteristic of peat soil of Indonesia. IARD J. 10: 59 – 64.
- _____. K. Nugroho, D.A. Suriadikarta, dan A.S. Karama, 1992. Sumber daya lahan rawa: potensi, keterbatasan dan pemanfaatan. *Dalam* Pengembangan Terpadu Pertanian Lahan Rawa Pasang Surut dan Lebak. Risalah Pertemuan Nasional. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Departemen Pertanian.
- Wild, A. 1990. The relation of thosphate by soil: A review. J. soil sci. 1: 221 – 237.

PENGUNAAN FOSFAT ALAM UNTUK TANAMAN PERKEBUNAN

Nurjaya, A. Kasno, dan A. Rachman

PENDAHULUAN

Tanah perkebunan di Indonesia sebagian besar tergolong jenis Podosolik (Ultisols), Latosol (Oxisols), sedikit Regosol (Entisols), dan sedikit jenis lainnya, yang secara keseluruhan berkadar P rendah. Pada tanaman perkebunan, pupuk P biasanya diberikan dalam bentuk TSP atau P-alam. Menurut Sedyarso (1999), penggunaan P-alam untuk perkebunan mempunyai keuntungan karena harganya relatif lebih murah, disamping itu P-alam mempunyai kandungan unsur lain (Ca, Cu dan Zn) yang relatif lebih tinggi. Dengan demikian pupuk P-alam selain sebagai sumber P juga mempunyai manfaat sebagai bahan untuk memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah.

Prospek penggunaan P-alam sebagai sumber P khususnya pada tanah mineral masam diharapkan cukup baik, karena mudah larut dalam kondisi masam serta dapat melepaskan fosfat secara lambat (*slow release*). Kualitas pupuk P-alam dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu: sifat mineral, kelarutan, besar butir, kadar karbonat bebas, kadar P_2O_5 total dan jenis deposit batuan fosfat. 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 (Lehr dan McClellan, 1972; Chien, 1995; Rajan *et al.*, 1996).

Menurut Buckman dan Brady (1980) terdapat tiga problem dalam pengelolaan fosfor: (1) jumlah total dalam tanah kecil; (2) tidak tersedianya fosfor asli; dan (3) terjadi fiksasi fosfor dalam tanah dari sumber pupuk yang diberikan. Sebagian besar fosfor dalam tanah umumnya tidak tersedia bagi tanaman meskipun keadaan lapangan paling ideal. Dengan demikian, masalah utama

pada tanah-tanah masam adalah kekahatan fosfor (P), fiksasi P yang tinggi dan keracunan Al, Mn dan kadang-kadang Fe. Kekahatan P pada umumnya parah disebabkan terikatnya unsur-unsur tersebut secara kuat pada tanah seperti mineral liat tipe 1 : 1 dan oksida-oksida Al dan Fe, maupun reaksi antara P dengan Al, sehingga unsur P tidak tersedia untuk tanaman (Radjagukguk, 1983).

P-alam adalah batuan apatit yang mengandung fosfat cukup tinggi sehingga dapat digunakan sebagai pupuk, dengan rumus molekul $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4, \text{CO}_2)_6\text{F}_2$. P-alam yang mengalami pelapukan, ion Ca bisa disubstitusi oleh ion Na dan Mg, dengan rumus molekul berubah menjadi $\text{Ca}_{10-a-b}\text{Na}_a\text{Mg}_b(\text{PO}_4)_{6-x}(\text{CO}_3)_x\text{F}_{0,4x}\text{F}_2$ (McClellan, 1978). Pupuk P-alam mempunyai kelarutan yang rendah bila digunakan pada tanah yang bereaksi agak netral sampai netral terutama untuk tanaman semusim, sehingga penyediaan hara P dari pupuk lebih lambat dibandingkan kebutuhan P untuk tanaman tersebut.

SERAPAN HARA P TANAMAN

Besarnya kebutuhan tanaman perkebunan terhadap unsur P dapat dinilai dari unsur P yang diserap oleh berbagai tanaman yang berbeda tergantung jumlah dan produksi yang dihasilkan serta keseimbangan dengan pemberian hara lainnya (Adiningsih, 1986). Jumlah hara yang dibutuhkan berbagai tanaman perkebunan dapat dinilai dari jumlah hara yang diserap baik berupa yang diangkut dalam bentuk panen maupun untuk pertumbuhan seperti pada Tabel 30.

Dari enam komoditas perkebunan hara P yang diserap oleh tanaman lebih rendah dari unsur N dan K, namun demikian peranannya terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman sangat penting. Besarnya kebutuhan pupuk pada subsektor perkebunan menyebabkan jumlah biaya yang harus dikeluarkan sangat besar. Sehingga biaya yang harus dikeluarkan untuk pemupukan pada

tanaman perkebunan merupakan komponen terbesar dari biaya perawatan tanaman keseluruhan yang mencapai 40 hingga 60% dari total biaya perawatan. Besarnya biaya tersebut dikarenakan kuantitas pupuk yang dipakai oleh pengusaha perkebunan di Indonesia dalam dua dekade Pelita yang lalu memanfaatkan jenis-jenis pupuk yang disubsidi Pemerintah, sehingga produk perkebunan kita mampu bersaing di pasaran internasional (Suwandi dan Lubis, 1998).

Tabel 30. Jumlah hara yang diserap tanaman dalam bentuk panen dan pertumbuhan dalam berbagai tanaman perkebunan per tahun

Komoditas	Jumlah hara yang diserap			Produksi
	N	P	K	
	kg ha ⁻¹ tahun ⁻¹			
Kelapa sawit	192	59	301	25,0 ton TBS
Kelapa	130	60	200	1.000,0 butir
Karet	60	30	65	2,5 ton latex
Kakao	40	15	70	1,0 ton biji
Kopi	120	30	130	1,5 ton biji
Teh	160	40	90	2,5 ton
Tebu	130	105	410	120,0 ton
Tembakau	130	40	240	2,5 ton

Sumber: Suwandi dan Lubis, 1988

PENGGUNAAN P-ALAM

Penelitian penggunaan P-alam yang berasal dari luar pada berbagai tanaman perkebunan telah lama dilakukan, sedangkan penelitian penggunaan P-alam lokal masih sedikit dikarenakan deposit P-alam yang ada di Indonesia masih sedikit yang ditambang serta kandungan P relatif lebih beragam jika dibandingkan dengan yang berasal dari P-alam impor. Hasil penelitian penggunaan P-alam pada tanaman perkebunan di Indonesia masih terbatas pada tanaman kelapa sawit, karet dan

kakao mengingat ketiga komoditas tersebut banyak dikembangkan ke lahan dengan pH tanah masam.

Tanaman Kelapa Sawit

Sampai awal tahun 1980 perkebunan di Indonesia menggunakan sumber pupuk dari P-alam yang berasal dari import seperti *Christmas Island Rock Phosphate* (CIRP) dan P-alam Yordania yang kualitasnya cukup baik dengan kandungan P_2O_5 berkisar antara 32-36% P_2O_5 dengan kandungan $CaO \pm 40\%$ dan R_2O_3 kurang dari 3% dan butirannya cukup halus. Hasil penelitian penggunaan pupuk P-alam impor tersebut ternyata memberikan pengaruh positif baik terhadap pertumbuhan maupun produksi tanaman dan memberikan keuntungan ekonomis yang cukup baik (Suwandi dan Lubis, 1988). Hasil penelitian penggunaan pupuk P-alam CIRP pada tanaman kelapa sawit di kebun Teluk Dalam Sumatera Utara oleh Pusat Penelitian Kelapa Sawit Marihat mulai dari tahun 1975 -1981 menunjukkan bahwa pemberian P-alam CIRP nyata meningkatkan produksi tandan buah segar (Martoyo *et al.*, 1987). Demikian pula hasil penelitian di kebun Bukit Lima tahun 1980 pemberian P-alam terhadap jumlah tandan buah segar/ha menunjukkan perbedaan yang sangat nyata antar perlakuan dan kontrol khususnya di kebun Teluk Dalam, sedangkan di dua kebun lainnya yaitu Dolok Sinubah dan Bukit Lima tidak menunjukkan perbedaan yang nyata antar perlakuan. Terhadap rata-rata berat tandan pada ketiga lokasi (Teluk Dalam, Dolok Sinubah dan Bukit Lima) tidak menunjukkan perbedaan yang nyata, namun menunjukkan kecenderungan bahwa pemberian pupuk P-alam menghasilkan rata-rata berat tandan yang lebih besar (Martoyo *et al.*, 1987). Penelitian di Bukit Lima dan Kebun Dolok Sinumbah Sumatera Utara. Hasil penelitian di Kebun Bukit lima menunjukkan bahwa pemberian 1 – 2 kg P-alam dapat meningkatkan hasil TBS masing-masing 3 dan 4 t dibandingkan perlakuan kontrol. Sedangkan hasil penelitian di

Kebun Dolok Sinubah, walaupun secara statistik tidak berbeda nyata, akan tetapi pemberian P-alam bobot TBS cenderung emningkan 1 – 1,5 t ha⁻¹ (Suwandi dan Lubis, 1988).

Hasil Penelitian Ng dan Thambo dalam Paimin *et al.* (1977) menunjukkan bahwa jumlah relatif unsur P yang diserap tanaman kelapa sawit dari dalam tanah mengikuti urutan: P<Mg<Ca<N<K. Pada tingkat produksi 25 t tandan buah segar (TBS) per ha per tahun unsur P diserap dari dalam tanah sebesar 26 kg ha⁻¹ tahun⁻¹ (Tabel 31). Dari jumlah unsur hara P yang diserap tanaman tersebut sebagian besar tidak kembali ke dalam tanah yaitu sebanyak 56,5% dalam bentuk bagian vegetatif tanaman dan hasil tandan buah segar (TBS), sedangkan sisanya yaitu bagian pelepah yang dipangkas secara rutin dan bagian bunga jantan yang gugur akan kembali ke dalam tanah memelaui dekomposisi sekitar 43,5%. Jumlah P yang tidak kembali ke dalam tanah sebanyak 14,7 kg ha⁻¹ tahun⁻¹ setara dengan 0,23 kg P₂O₅ pohon tahun⁻¹. Dengan demikian jumlah pupuk P yang dikembalikan minimal setara dengan jumlah P yang terangkut keluar baik dalam bentuk vegetatif maupun hasil tanaman (tandan buah segar).

Tabel 31. Jumlah unsur P yang diserap tanaman dari dalam tanah dan disitribusinya dalam tiap komponen tanaman

Komponen tanaman	Jumlah P yang diserap kg ha ⁻¹ tahun ⁻¹
Bagian vegetatif	3,1 (11,9%)
Pelepah yang dipangkas secara rutin	8,9 (34,2%)
TBS (25 t ha ⁻¹)	11,6 (44,6%)
Bunga jantan	2,4 (9,2%)
Total	26,0 (100%)

Tanaman kelapa sawit selama fase pertumbuhannya memerlukan P relatif lebih kecil dari unsur N dan K. Sebagai sumber pupuk P bisa diberikan dalam bentuk TSP atau P-alam. Pupuk TSP bersifat cepat larut dengan kadar P₂O₅ cukup tinggi yaitu 46%, sedangkan P-alam mempunyai kandungan P₂O₅

bervariasi sampai 35% lebih. Pupuk TSP harganya relatif mahal dibandingkan dengan P-alam namun lebih cepat larut sehingga lebih muda tersedia bagi tanaman sedangkan pupuk P-alam memiliki variasi yang besar dalam kandungan P_2O_5 dalam jumlah keseluruhan maupun ketersediaannya bagi tanaman walaupun dari deposit yang sama. Menurut Sedyarso (1999), penggunaan P-alam untuk perkebunan mempunyai keuntungan karena harganya relatif lebih murah, selain itu P-alam mempunyai kandungan unsur lain (Ca, Cu dan Zn) yang relatif lebih tinggi. Dengan demikian pupuk P-alam selain sebagai sumber P juga mempunyai manfaat sebagai bahan untuk memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah.

Sifat P dalam tanah tidak mobil karena tingkat ketersediaannya dalam tanah dipengaruhi oleh: reaksi tanah (pH), kadar Al dan Fe oksida, kadar Ca, kadar bahan organik, tekstur dan pengelolaan lahan. Fosfat tanah dapat dalam bentuk P larutan, P labil, P difiksasi oleh Al, Fe atau Ca, dan P organik. Fosfat dalam larutan dapat berbentuk $H_2PO_4^-$ atau HPO_4^{2-} (Havlin *et al.*, 1997), tergantung dari kemasaman larutan (pH). Fosfat tidak tersedia difiksasi Fe dan Al oksida pada tanah masam, difiksasi Ca pada tanah basa. Bentuk-bentuk tersebut saling terjadi keseimbangan, artinya apabila bentuk P tidak tersedia dalam jumlah sedikit akan terjadi aliran hara P dari bentuk-bentuk yang tidak tersedia.

Fungsi P dalam tanaman berperan sebagai komponen enzim dan protein tertentu, adenosin trifosfat (ADP), asam ribo nukleat (RNA), asam deoksiribo nukleat (DNA) dan fitin. Berperan dalam reaksi transer energi, dan menurunkan sifat keturunan lewat DNA dan RNA. Gejala kekurangan P yaitu pertumbuhan lambat, lemah dan kerdil. Fosfat diperlukan terutama untuk pembentukan akar baru. Pada tanaman kelapa sawit, kekurangan P pada fase pertumbuhan vegetatif tanaman dapat menyebabkan pelepah daun memendek.

Tanaman Karet

Hasil penelitian di kebun Cikumpay dan Cibodas menggunakan P-alam dari Cirebon hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan tanaman karet muda yang dipupuk NPK dengan P-alam sebagai pupuk P, tidak berbeda nyata dibandingkan dengan tanaman yang dipupuk NPK dengan TSP sebagai sumber P. Sedangkan hasil penelitian di pada tanah Podsolik di Sumatera Selatan, pemberian P-alam sama efektifnya dengan TSP untuk persemaian karet GT 1 (Hardjono, 1987).

Hasil penelitian pemupukan N, P, K dan Mg dimana sumber P berasal dari pupuk P-alam pada tanaman karet muda disajikan pada Tabel 32. Pemberian P-alam dapat meningkatkan lilit batang sebesar 15-30% (Siregar *et al. dalam* Suwandi dan Lubis, 1990). Hasil penelitian lain penggunaan P-alam dengan cara pemberian pada lubang tanaman menunjukkan bahwa P-alam dapat lebih mempercepat pertumbuhan lilit batang sebesar 5-7% (Istianto dan Tampubolon, 1988). Demikian pula penelitian penggunaan pupuk P-alam sebagai sumber P di perkebunan Cibodas dan Cikumpay Jawa Barat menunjukkan bahwa pertumbuhan karet muda yang dipupuk P-alam tidak berbeda nyata dibandingkan dengan perlakuan TSP. Penggunaan P-alam untuk tanaman karet pada tanah dengan pH masam lebih efektif sebagai pengganti TSP (Suwandi dan Lubis, 1990).

Tabel 32. Pertumbuhan lilit batang tanaman karet dengan sumber P pupuk TSP dan fosfat alam

Perlakuan	Pertumbuhan lilit batang	
	Kebun Cikumpay	Kebun Cibodas
	mm bulan ⁻¹	
Kontrol	5,85	5,12
N P _(TSP) K	7,55	6,57
N P _(RP) K	7,50	6,31

Sumber: Thung Tjiang Pek *dalam* Harjono (1979)

Berdasarkan hasil penelitian Ruber Research of Malaya (1972) dalam Paimin *et al.* (1997) jumlah P yang diperlukan tanaman karet dibandingkan dengan hara N, K dan Mg dengan urutan kebutuhan sebagai berikut $P < Mg < K < N$. Hasil perhitungan jumlah P yang termobilisasi yang terikut dalam bentuk hasil lateks, dikembalikan dalam bentuk ranting + daun + buah, dan yang perlu dikembalikan dalam bentuk pupuk pada setiap tahunnya disajikan pada Tabel 33.

Tabel 33. Perkiraan jumlah P termobilisasi, yang terangkut ke dalam produksi, dan yang dikembalikan ke dalam tanah pada tanaman karet menghasilkan

Uraian	Jumlah hara P_2O_5 g/pohon/tahun
P termobilisasi	110,0
P terikut ke dalam lateks	17,8
P dikembalikan dalam bentuk ranting, daun, dan buah	40,0
P diperlukan	87,8

Dari berbagai hasil penelitian penggunaan P-alam pada tanaman karet, penggunaan pupuk P baik yang bersumber dari pupuk buatan (TSP) dan P-alam memberikan hasil yang sama, namun demikian penggunaan P-alam sebagai sumber P pada tanah-tanah masam dalam jangka panjang memberikan hasil lebih menguntungkan jika dibandingkan dengan penggunaan pupuk buatan. Walaupun sumber P-alam di Indonesia kandungan P relatif lebih beragam jika dibandingkan dengan yang berasal dari impor, namun penggunaan P-alam sebagai sumber P memberikan prospek yang sangat baik jika digunakan pada tanah-tanah masam yang penyebarannya sangat luas di Indonesia.

Tanaman Kakao

Tanaman kakao di Indonesia banyak dikembangkan pada tanah masam baik di Jawa Barat maupun Sumatera Utara, sehingga penggunaan pupuk P-alam akan lebih efektif untuk tanaman kakao. Pada tanaman kakao, yang ditanaman pada tanah-tanah masam baik di Jawa Barat maupun di Sumatera Utara penggunaan pupuk P-alam sebagai sumber pupuk P lebih efisien dibandingkan dengan penggunaan pupuk P dari sumber pupuk yang lain.

Hasil penelitian Harjono (1988) penggunaan pupuk P-alam sebanyak sembilan jenis, dua jenis P-alam lokal (setia Bakti RP dan Erista Raya RP) dan tujuh jenis P-alam yaitu P-alam Mitlaout, P-alam Mourales, P-alam Mesir, P-alam Maroko, P-alam Togo, P-alam Jordan dan P-alam Florida di Jawa Barat disajikan pada Tabel 34.

Tabel 34. Nilai RAE berbagai pupuk P-alam dibandingkan dengan TSP terhadap tanam kakao pada Kebun Cikopo, Cisalak, dan Ciomas

Jenis pupuk	Nilai RAE pupuk P-alam (%) pada tanah			Rata-rata
	Cikopo	Cisalak	Ciomas	
TSP	100,0 a	100,0 a	100,0 a	
P-alam Setia Bakti	141,2 a	301,4 bc	95,7 a	
P-alam Erista Raya	125,9 a	346,4 c	116,3 a	
P-alam Mitlaout	117,2 a	317,3 c	83,8 a	
P-alam Mourales	145,4 a	299,1 bc	126,5 a	
P-alam Mesir	142,7 a	314,9 bc	81,9 a	
P-alam Maroko	100,5 a	357,5 c	134,7 a	
P-alam Togo	118,4 a	137,4 ab	69,8 a	
P-alam Jordan	152,7 a	307,0 bc	96,3 a	
P-alam Florida	149,0 a	327,5 c	104,3 a	

Sumber: Hardjono (1988)

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kesembilan P-alam tersebut efektivitasnya sama dengan pupuk TSP di kebun Cikopo dan Ciomas sedangkan di kebun Cisalak pemberian P-alam Setia Budi, P-alam Erista Raya, P-alam Mitlaout, P-alam Mourales, P-

alam Mesir, P-alam Maroko, P-lama Jordan, dan P-alam Florida lebih efektif dibandingkan dengan TSP terhadap serapan dan pertumbuhan tanaman kakao.

Hasil penelitian jangka panjang pada tanaman kakao selama 18 tahun oleh Dunlop Research Center, Negeri Sembilan, Malaysia menunjukkan bahwa pemberian pupuk P-alam dengan takaran yang tepat dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman kakao di pembibitan dan pemberian P-alam pada awal tanam yang diberikan pada lubang tanam dapat mempercepat pertumbuhan awal tanaman. Sedangkan pemberian P-alam pada tanaman yang sudah menghasilkan secara teratur sangat diperlukan dalam mempertahankan produktivitas hasil tanaman yang tinggi pada tanah Ultisol dan Oxisol (Ling, 1990).

Hasil kajian pada tanaman kakao telah dilakukan secara mendalam di Malaysia (Ling dan Mainstone, 1982; Ling, 1988). Serapan hara P pada tanaman kakao umumnya membentuk kurva dengan pola sigmoid dengan serapan hara P tertinggi pada umur 5 tahun pertama. Selama pertumbuhan tanaman, hara P yang diserap oleh tanaman kakao relatif kecil dibandingkan dengan hara N dan K yaitu hanya rata-rata sekitar 25 kg P ha⁻¹ dalam waktu 5 tahun atau hara P yang diserap setiap tahunnya 5 kg ha⁻¹ (Tabel 35).

Tabel 35. Hara yang diserap oleh tanaman kakao selama 5 tahun pada tanah Oxisols (Tropeptic Haplortox) dan Ultisols (Typic Paleudult)

Hara	Diserap tanaman	
	Tropeptic Hapludox (Seri Munchong)	Typic Paleudult (Seri Bungor)
	—kg ha ⁻¹ —	
N	256	246
P	27	22
K	354	272
Ca	198	141
Mg	81	72

Sumber: Paimin *et al.* (1997)

Hara P yang diserap oleh tanaman kakao mengikuti perimbangan $P < Mg < Ca < N < K$. Namun demikian walaupun serapan P oleh tanaman kakao relatif kecil akan tetapi peranannya sangat penting untuk pembungaan, perkembangan buah, dan produksi kakao. Dengan demikian pemberian pupuk P dapat meningkatkan pembungaan dan produksi kakao. Apabila tanaman kakao kurang unsur hara P secara langsung dapat mengganggu tingkat produktivitas tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, S.J. 1986. Peranan Pemupukan K pada Tanaman Perkebunan di Berbagai Jenis Tanah di Indonesia.
- Adiningsih, Sri Rochayati, Moersidi Sediarto, dan Antonius Kasno. 1997. Prospek Penggunaan Pupuk Fosfat Alam untuk Budidaya Pertanian Tanaman Pangan. Disajikan dalam Seminar Nasional Pupuk Fosfat Alam. Jakarta, 16 Juli 1997.
- Chien, SH. 1995. Seminar on The Use of Reactive Phosphate Rock for Direct Application. Juli 20, 1995. Pengedar Bahan Pertanian Sdn Bhd. Selangor. Malaysia.
- Hardjono, A. 1987. Pemupukan fosfat pada tanaman perkebunan. hlm. 335-349 *dalam* Prosiding Lokakarya Nasional Penggunaan Pupuk Fosfat. Cipanas, 29 Juni – 2 Juli 2009. Pusat Penelitian Tanah, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Deptan.
- Harjono, A. 1979. Pengaruh Pupuk N, P, K, dan Mg terhadap Pertumbuhan Karet (*Havea brazillensis* Muell. Agr) GT-1 di Persemaian pada Tanah Podsolik Merah Kuning di Sumatera Selatan. Tesis Magister Sains, Fakultas Pasca Sarjana, IPB. Bogor.
- Ling, A.H. 1988. The use of rock phosphate for direct application in cocoa plantations in Malaysia. *Dalam* Lokakarya Penggunaan Pupuk P-Alam Secara langsung Pada Tanaman Perkebunan. Cipayung, Bogor, 22 November 1988.

- Ling, A.H. 1990. Use rock phosphate for direct application in cocoa plantations in Malaysia. *Dalam* Prosiding Lokakarya Penggunaan Pupuk P-alam Secara Langsung pada Tanaman Perkebunan. Cipayung, 22 Nopember 1988. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Ling, A.H., dan B.J. Mainstoen. 1982. Phosphate requirement of cocoa on Malaysia. p. 365-381. *In* Proc. Int. Conf. on Phosphorus and Potasium in the Tropics. Kuala Lumpur.
- Martoyo, K., Suwandi, dan A.U. Lubis. 1987. Percobaan pemupukan fosfat alam pada tanaman kelapa sawit di Suamtera. hlm. 361-369 *dalam* Prosiding Lokakarya Nasional Penggunaan Pupuk Fosfat. Ciplanas, 29 Juni – 2Juli 2009. Pusat Penelitian Tanah, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Deptan.
- McClellan, G. H. 1978. Mineralogy and reactivity of phosphate rock. Seminar on Phosphate Rock for Direct Application. Haifa, Israel, March 20 –23: 57 – 81.
- Paimin, K., Y. Taryo-Adiwigandam, M.M. Siahaan, dan Subagiyono. 1997. Peranan pupuk fosfat alam untuk meningkatkan produksi tanaman perkebunan. *Dalam* Prosiding Nasional Penggunaan Pupuk P-alam Mendorong Pembangunan Pertanian Indonesia yang Kompetitif. Jakrta 16 Juli 1997. Depatemen Pertanian, PT. Pupuk Sriwidjaja dan PT. Maidah.
- Radjagukguk, B. 1983. Masalah pengapuran tanah masam di Indonesia. *Dalam* Prociding Seminar Alternatif-Alternatif Pelaksanaan Program Pengapuran Tanah-Tanah Mineral Masam di Indonesia. Fakultas Pertanian UGM. Yogyakarta. Bull. 18: 15-43.
- 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.

Sediyarso, M. 1999. Fosfat Alam sebagai Bahan Baku dan Pupuk Fosfat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor 1999.

Suwandi dan Lubis A.U. 1990. Pemanfaatan pupuk fosfat alam untuk tanaman perkebunan di Indonesia. hlm. 37-51 *dalam* Prosiding Lokakarya Penggunaan Pupuk P-alam Secara Langsung pada Tanaman Perkebunan. Cipayung, 22 Nopember 1988. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.

PEMANFAATAN FOFAT ALAM DITINJAU DARI ASPEK LINGKUNGAN

Mas Teddy Sutriadi, Sri Rochayati, dan Achmad Rachman

PENDAHULUAN

Lingkungan hidup adalah sistem kehidupan yang merupakan kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan (tatanan alam) dan makhluk hidup termasuk manusia dengan perilakunya yang mempengaruhi kelangsungan perikehidupan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lainnya. Dengan memerinci pengertian tentang lingkungan hidup itu, tersiratlah adanya tiga subsistem dalam kehidupan itu.

Betapa pun kemajuan perkembangan ilmu pengetahuan, teknologi dan seni yang dikembangkan manusia, secara transenden kehidupan di Bumi ini juga berada dalam tatanan alam semesta secara keseluruhan. Seperti terlihat dalam gambar, matahari sebagai sumber energi dan cahaya merupakan satu di antara jutaan bintang, yang sangat mempengaruhi dan diperlukan sebagai sumber energi, panas dan cahaya dalam kelangsungan kehidupan di Bumi.

Pembangunan adalah upaya sadar dan terencana yang memadukan potensi sumber daya alam ke dalam perilaku manusia yang menjamin kelangsungan perikehidupan dan kesejahteraan manusia dan juga untuk makhluk hidup lain seraya menjaga kualitas sumber daya pembangunan itu secara terus-menerus. Pembangunan seutuhnya seharusnya meliputi keseluruhan lingkungan hidup manusia, walaupun dalam kenyataannya pembangunan lingkungan hidup buatan/binaan manusia pada umumnya lebih ditonjolkan maknanya. Padahal pembangunan dalam mengelola sumber daya alam atau lingkungan hidup alam yang sebenarnya merupakan tumpuan pembangunan secara keseluruhan, kurang memperoleh perhatian sepantasnya. Terlebih

lagi pembangunan lingkungan hidup sosial yang menjangkau diri manusia yang menjadi perilaku maupun sasaran pembangunan, tidak cukup terintegrasi dalam pembenahan keseluruhan perilaku kita.

Agar pembangunan manusia dan pembangunan pertanian berjalan seiring, diperlukan pengunjukan ruang lingkup lingkungan pertanian dan ruang lingkup lingkungan manusia yang mengandung unsur-unsur pokok yang sama. Dengan demikian upaya menjaga keberlanjutan (*sustainability*) lingkungan manusia dengan sendirinya menjaga pula keberlanjutan lingkungan pertanian. Komponen-komponen lingkungan penting, baik dilihat dari segi kepentingan manusia maupun dari segi kepentingan pertanian, adalah udara, tanah, air, kehidupan hayati, keadaan ekonomi, dan nilai sosial budaya.

Indonesia termasuk negara yang (sebenarnya) kaya dengan sumber daya alam (SDA) yang melimpah, baik mineral logam (timah, tembaga, nikel, emas dan perak) dan non-logam (belerang, kapur, fosfat, marmer dan jodium), energi (batu bara, minyak dan gas), maupun sumber daya hayati. Indonesia memiliki hutan cadangan seluas \pm 31 juta ha untuk dikonversi menjadi lingkungan hidup buatan.

Sumber daya alam atau lingkungan hidup alam kita merupakan tumpuan dari pelaksanaan pembangunan untuk dapat berhasil dalam mencukupi segala kebutuhan manusia. Keberhasilan itu hanya dapat dicapai secara terus-menerus, baik untuk generasi sekarang maupun generasi yang akan datang kalau secara menyeluruh keterkaitan makna sumber daya alam dengan semua sektor pembangunan kita kelola dengan sebaik mungkin. Sumber daya alam itu mempunyai beraneka ragam peluang dan potensi pemanfaatan (*natural resource prospecting*) yang harus dikelola (dan dimanfaatkan) dengan menjaga keselamatan maknanya dalam kehidupan (*natural resource safety*) secara terus-menerus.

Deposit fosfat merupakan sumber daya alam yang sangat penting dalam industri pupuk fosfat untuk pertanian. Hanya beberapa negara yang beruntung di wilayahnya ditemukan deposit fosfat yang ekonomis baik untuk industri pupuk maupun untuk digunakan langsung sebagai pupuk. Deposit fosfat ditemukan dalam berbagai formasi geologi seperti sebagai batuan sedimen, batuan beku, batuan metamorfik, dan *guano*. Sekitar 80-90% batuan fosfat yang ditambang berasal dari batuan sediment, 10-20% berasal dari batuan beku (FAO, 2004), dan hanya 1-2% berasal dari guano terutama akumulasi hasil ekskresi burung dan kelelawar (van Straaten, 2002).

Deposit Fosfat Alam di Indonesia

Deposit fosfat alam di Indonesia pada umumnya ditemukan di daerah pegunungan karang, batu gamping atau dolomitik yang merupakan deposit gua yang tersebar di Aceh, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Nusa Tenggara, dan Irian Jaya atau Papua. Menurut data yang dikumpulkan sampai tahun 1958 diperkirakan 663 ribu ton, sekitar 76% terdapat di Pulau Jawa dan sekitar 23% terdapat di Sumatera Barat (Tabel 36).

Tabel 36. Deposit fosfat alam di Indonesia menurut data yang dikumpulkan sebelum perang dunia II hingga 1958

No	Provinsi	Jumlah lokasi	Perkiraan deposit	
			t	%
1.	Aceh	5	1.800	5,9
2.	Sumatera Utara	1	304	29,3
3.	Sumatera Barat	16	152.000	t.d
4.	Jawa Barat	77	169.640	9,3-43,4
5.	Jawa Tengah	104	228.175	10,1-35,1
6.	Jawa Timur	75	105.639	< 40,3
7.	Nusa Tenggara	2	3.000	1,3-27,2
8.	Irian Jaya	2	2.500	15,0-31,5

Sumber: Samo Harjanto (1986); t.d = tidak ditetapkan

Selanjutnya dari hasil survei eksplorasi tahun 1968-1985 oleh Direktorat Geologi dan Mineral, Departemen Pertambangan telah ditemukan cadangan fosfat alam yang diperkirakan sebesar 895 ribu ton yang tersebar di Pulau Jawa (66%), Sumatera Barat (17%), Kalimantan (8%), Sulawesi (5%), dan sekitar 4% tersebar di Papua, Aceh, Sumatera Utara, dan Nusa Tenggara. Perkiraan cadangan deposit fosfat alam terbesar terdapat di Jawa Timur yaitu di daerah Tuban, Lamongan, Gresik, dan Madura sekitar 313 ribu t (Tabel 37).

Tabel 37. Deposit fosfat alam di Indonesia menurut data yang dikumpulkan dari tahun 1968 - 1985

No	Provinsi	Peta	Deposit	
			t	Kadar P ₂ O ₅ %
1.	Jawa Barat:			
	- Lebak	(1)	4.000	23,0-30,0
	- Rangkasbitung	(2)	td	td
	- Cibinong, Leuwiliang, Ciamis, Cigugur, Cijunjung, Parigi, dll	(3)	99.459	1,0-38,0
2.	Jawa Tengah:			
	- Sukolilo, Brati, Pati	(4)	119.000	10,0-38,0
	- Karangayun, Grobogan	(5)	54.500	26,0
3.	Jawa Timur:			
	- Tuban	(6)	25.831	28,0
	- Lamongan	(7)	186.680	31,0
	- Gresik	(8)	25.500	29,0
	- Madura	(9)	74.518	28,0
	- P.Kangean	(10)	t.d	t.d
4.	Kalimantan:			
	- Kandangan	(11)	75.240	12,5-37,0
5.	Sulawesi:			
	- P. Kakabiya	(12)	45.000	0,4-25,1
6.	Timor Timur			
	- Quelical	(13)	t.d	t.d
7.	Irian Jaya:			
	- Misool	(14)	t.d	3,0-8,0
	- Anjawi	(15)	2.500	3,0
	- Ayamaru	(16)	td	28,00
8.	Aceh	(17)	1.800	5,9
9.	Sumatera Utara	(18)	304	29,3
10.	Sumatera Barat	(19)	152.000	t.d
11.	Nusa Tenggara	(20)	30.000	1,3-27,2

Sumber: Samo Harjanto (1986) dalam Moersidi (1999)

Deposit gua atau batu kapur terdapat pada daerah yang terpencar dan belum ditemukan deposit dalam jumlah yang cukup,

kecuali untuk diusahakan dalam skala kecil. Berdasarkan dari keadaan geologi beberapa daerah yang cukup potensial diduga terdapat sekitar 1 atau 2 juta t deposit fosfat seperti di Ciamis, Pati, daerah antara Lamongan dan Tuban, serta di Hulu Mahakam, Kalimantan Timur. Pada daerah deposit fosfat yang telah diketahui diduga terdapat pula deposit P dari endapan laut yang biasanya cukup homogen dan dalam jumlah yang besar. Dari hasil eksplorasi tahun 1990 ditemukan fosfat endapan laut dengan kadar P_2O_5 sekitar 20-38% dalam jumlah sekitar 2-4 juta t pada formasi batu gamping Kalipucung di Ciamis.

Pada umumnya deposit fosfat alam di Indonesia mempunyai kadar total P_2O_5 sangat bervariasi dari rendah sampai sedang dan ada beberapa deposit yang mencapai kadar sampai 40% P_2O_5 . Reaktivitas fosfat alam atau kelarutan fosfat alam yang menentukan kemampuan fosfat alam melepaskan P untuk tanaman juga sangat bervariasi (< 1 – 18% P_2O_5).

Hasil survei yang dilakukan Pusat Sumber Daya Geologi tahun 2008 deposit batuan fosfat di Indonesia ditemukan di Aceh Darusalam, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Kalimantan Selatan, dan Kalimantan Timur. Sebagian besar deposit batuan fosfat yang telah ditemukan di Indonesia terdiri atas deposit gua, dan berada daerah dekat pantai. Potensi batuan fosfat sangat bervariasi dari 100 – 4.500.000 t, dan kualitasnya bervariasi dari 4,19 - 49,3% P_2O_5 (Tabel 38). Berdasarkan hasil survei yang dilakukan oleh Pusat Sumber Daya Geologi tahun 2008 tersebut diketahui bahwa bentuk P bervariasi Ca Al-P, Fe Al-P, Fe-P, dan Ca-P. Warna yang terbentuk dapat coklat, hitam, dan keras.

Karakteristik Fosfat Alam

Di alam terdapat sekitar 150 jenis mineral fosfat dengan kandungan P sekitar 1-38% P_2O_5 . Sebagian fosfat alam ditemukan dalam bentuk apatit. Pada umumnya deposit fosfat alam berasal dari batuan sedimen dalam bentuk karbonat

fluorapatit yang disebut francolite ($\text{Ca}_{10-x-y}\text{Na}_x\text{Mg}_y(\text{PO}_4)_6-z(\text{CO}_3)_z\text{F}_{0,4z}\text{F}_2$), sedangkan deposit berasal dari batuan beku dan metamorfik biasanya dalam bentuk fluorapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$) dan hidroksi apatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$). Adapun deposit yang berasal dari ekskresi burung dan kelelawar (*guano*) umumnya ditemukan dalam bentuk karbonat hidroksi apatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{CO}_3)_6(\text{OH})_2$). Mineral lain seperti kuarsa, kalsit, dan dolomit umumnya juga ditemukan dalam mineral apatit sebagai *secondary mineral*.

Selain fosfat dan karbonat, di dalam batuan fosfat alam terkandung berbagai unsur seperti Ca, Mg, Al, Fe, Si, Na, Mn, Cu, Zn, Mo, B, Cd, Hg, Cr, Pb, As, U, V, F, Cl. Unsur utama di dalam fosfat alam antara lain P, Al, Fe, dan Ca. Secara kimia, fosfat alam dapat dikategorikan menjadi fosfat alam dengan dominasi Ca-P atau Al-P dan Fe-P sedangkan unsur lain merupakan unsur ikutan yang bermanfaat dan sebagian lain kurang bermanfaat bagi tanaman. Unsur ikutan yang perlu diwaspadai adalah kandungan logam berat yang cukup tinggi dalam fosfat alam, seperti Cd, Cr, Hg, Pb, dan U.

Fosfat alam mempunyai tingkat kelarutan tinggi pada kondisi masam, oleh karena itu sangat sesuai apabila digunakan sebagai sumber pupuk P pada lahan kering masam seperti Ultisol, Oxisol dan sebagian Inceptisol, dan kurang sesuai digunakan pada tanah bereaksi netral dan alkalin. Secara umum, kelarutan fosfat alam akan meningkat dengan menurunnya pH, Ca-dapat ditukar dan P dalam larutan tanah.

Tabel 38. Deposit batu fosfat di Indonesia menurut Peta Potensi Sumber Daya Geologi seluruh kabupaten di Indonesia (Pusat Sumber Daya Geologi, 2008)

No.	Provinsi	Kabupaten	Kecamatan	Desa	Potensi	Kadar P ₂ O ₅
					t	%
1	Aceh	Aceh Besar	Leupung	Gua Sigenan	5.000	12-35, gua fosfat
2	Aceh	Aceh Besar	Leupung	Gua Truh	1.500	31,06, coklat, keras
3	Aceh	Aceh Besar	Arongan Lambalek	Gua Gleteumiba	13.000	6,25-27,8 Gua fosfat
4	Aceh	Pidie	Batee	Gua Tujuh	1.500	40,41-40,91 coklat, hitam
5	Jawa Barat	Bogor	Leuwiliang	Gunung Jambu	30.000	33,04 gua Fosfat, 33,04
6	Jawa Barat	Sukabumi	Jampang Tengah	Jampang Tengah	40.000	33-39, gua Fosfat
7	Jawa Barat	Ciamis	Cihaurbeuti	Gunung Sawal	100	Belum ada data
8	Jawa Barat	Ciamis	Padaherang	Ciganjeng	20.000	17,31
9	Jawa Barat	Ciamis	Padaherang	Karangmulya	71.000	14,55-33
10	Jawa Barat	Ciamis	Padaherang	Padaherang	425.000	18-33
11	Jawa Barat	Ciamis	Sidamulih	Pamarican	2.000.000	15-39
12	Jawa Tengah	Pati	Sukolilo	Sukolilo	65.000	25-35
13	Jawa Tengah	Pati	Sukolilo	Sukolilo	20.000	25-35
14	Jawa Tengah	Magelang	Salaman	Kalisasak	225.000	Belum ada data
15	Jawa Tengah	Kebumen	Ayah	Karangbolong, Gombong	250.000	10-28, 119 gua fosfat
16	Jawa Tengah	Kebumen	Buayan	Gua Banteng, Desa Gebluk	35.000	Belum ada data
17	Jawa Tengah	Grobogan	Grobogan	Branti, Kayen	65.000	30
18	Jawa Tengah	Grobogan	Grobogan	Karangayun	35.750	Belum ada data
19	Jawa Tengah	Wonogiri	Batuwarno	Posong, Karang Tengah	12.400	luas = 0,2 ha
20	Jawa Tengah	Wonogiri	Giritontro	Giritontro	1.000	25-35
21	Jawa Tengah	Wonogiri	Pracimantoro	Pracimantoro	7.000	14,65-29,64
22	Jawa Timur	Bojonegoro	Dander	Ngumpah Dalun	1.870	31,32,
23	Jawa Timur	Gresik	Paceng	Kemantren, Desa Prupuh	1.500	4 lokasi, endapan Ca-Al P

No.	Provinsi	Kabupaten	Kecamatan	Desa	Potensi	Kadar P ₂ O ₅
24	Jawa Timur	Gresik	Sedayu	Purwodadi	1.000	2 lokasi, endapan Ca-Al P
25	Jawa Timur	Lamongan	Babat	Pucek Wangi	5.000	Endapan Fe-Al P
26	Jawa Timur	Lamongan	Brondong	Brondong	100	Luas = 1,8 ha
27	Jawa Timur	Lamongan	Paciran	Paciran	2.000	6 lokasi, endapan Ca-Al P
28	Jawa Timur	Pacitan	Kebonagung	Plumbungan	27.000	11 lokasi
29	Jawa Timur	Pacitan	Ngadirojo	Kuripan, Desa Sidomulyo	50.000	Belum ada data
30	Jawa Timur	Tuban	Merakkurak	Margomulyo, Senori	22.900	Termasuk Fe-P
31	Jawa Timur	Tuban	Palong	Palong Sebelah Timur	1.900	Fe-P
32	Jawa Timur	Tuban	Rengel	Gesikan	30.000	33,4-49,3
33	Jawa Timur	Tuban	Semanding	Semanding	25.600	Belum ada data
34	Jawa Timur	Bangkalan	Geger	Krawang, Desa Kombang	312.000	33 buah, jenis Ca-P
35	Jawa Timur	Bangkalan	Labang	Beringin	500	Belum ada data
36	Jawa Timur	Sampang	Jrengik	Buker	1.500.000	29,01
37	Jawa Timur	Sampang	Jrengik	Taman	1.500.000	4,19
38	Jawa Timur	Sampang	Kedundung	Kedundung	1.500.000	Belum ada data
39	Jawa Timur	Sampang	Ketapang	Bunten Timur	750.000	Belum ada data
40	Jawa Timur	Sampang	Omben	Tambak	3.000.000	23,26
41	Jawa Timur	Sampang	Sampang	Dalpenang	4.500.000	9,79-27,78
42	Jawa Timur	Sampang	Sokobanah	Bira Timur	2.250.000	43,14
43	Kalsel	Balangan	Awayan	Gua Sungsum, G. Batuputih, Juuh	10.400	8,82
44	Kalsel	Hulu Sungai Selatan	Laksado	G. Liang Mandala & G. Batupute, Tanuhi Mal	41.500	10-37
45	Kalsel	Kota Baru	Pamukan Utara	Gua Banian, Rantau Buda	3.100	11,18
46	Kalsel	Tanah Bumbu	Batulicin	Transmigrasi Blok 1, Mantewe	1.100	Belum ada data
47	Kalsel	Tapin	Bungur	Gua Pegat Tasungin dan Gua Rantau, Rantau Bujur	110.100	7,31-12,19
48	Kaltim	Kutai	Muara Badak	Gua Pesoli dan Pelangkau, Muara Badak Ilir	400	Belum ada data
49	Kaltim	Kutai	Sebelu	Kampung Sanggulan, Sebulu Ulu	400	Belum ada data

Fosfat alam mempunyai efek residu jangka panjang karena mempunyai sifat *slow release*, oleh karena itu pemberian fosfat alam dapat diberikan sekaligus pada saat tanam dan dapat digunakan hingga beberapa musim berikutnya.

Namun demikian penambangan dan penggunaan fosfat yang tidak berhati-hati, dapat mencemari lingkungan, karena adanya unsur ikutan logam berat dalam fosfat alam seperti Cd, Cr, Hg, Pb, dan U dengan kadar cukup tinggi. Logam-logam berat ini berpotensi meningkatkan pajanan terhadap pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup.

Dampak Pemanfaatan Fosfat Alam terhadap Lingkungan

Pencemaran lingkungan merupakan masalah kita bersama, yang semakin penting untuk diselesaikan, karena menyangkut keselamatan, kesehatan, dan kehidupan kita. Siapapun bisa berperan serta dalam menyelesaikan masalah pencemaran lingkungan ini, termasuk kita. Dimulai dari lingkungan yang terkecil, diri kita sendiri, sampai ke lingkungan yang lebih luas.

Untuk menyelesaikan masalah pencemaran lingkungan ini, tentunya kita harus mengetahui sumber pencemar, bagaimana proses pencemaran itu terjadi, dan bagaimana langkah penyelesaian pencemaran lingkungan itu sendiri.

Effendi (2003) mengelompokkan sumber pencemar (*pollutan*) menjadi: (1) sumber pencemar lokasi tertentu (*point source*) dan (2) sumber pencemar tersebar atau baur (*non point source*). Sumber pencemar *point source* bersifat lokal, dan efek yang ditimbulkan dapat ditentukan berdasarkan karakteristik spasial dari bahan pencemar dari suatu kegiatan, misalnya, knalpot mobil, asap pabrik, saluran limbah industri. Sedangkan sumber pencemar *non point source* adalah sumber pencemar dari berbagai sumber pencemar *point source* dalam jumlah banyak. Sebagai contoh adalah limpasan air dari kegiatan pertanian yang mengandung pupuk dan pestisida, limpasan air dari daerah

permukiman berupa limbah domestik. Dalam kaitannya dengan judul tulisan ini, yang akan disajikan dan dibahas adalah sumber pencemar *non point source*, yaitu pupuk fosfat alam.

Proses pencemaran dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung. Secara langsung yaitu bahan pencemar tersebut langsung berdampak meracuni sehingga mengganggu kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan atau mengganggu keseimbangan ekologis baik air, udara maupun tanah. Proses tidak langsung, yaitu beberapa zat kimia bereaksi di udara, air maupun tanah, sehingga menyebabkan pencemaran.

Pencemar ada yang langsung terasa dampaknya, misalnya berupa gangguan kesehatan langsung (penyakit akut), atau akan dirasakan setelah jangka waktu tertentu (penyakit kronis). Sebenarnya alam memiliki kemampuan sendiri untuk mengatasi pencemaran (*self recovery*), namun alam memiliki keterbatasan. Setelah batas itu terlampaui, maka pencemar akan berada di alam secara tetap atau terakumulasi dan kemudian berdampak pada manusia, material, hewan, tumbuhan, dan ekosistem.

Sumber pencemaran yang penting dari pemanfaatan fosfat alam adalah kegiatan penambangan fosfat alam dan aplikasi fosfat alam dengan takaran yang berlebihan. Kegiatan penambangan fosfat alam yang berdampak pada lingkungan adalah eksplorasi, pengangkutan dari lokasi tambang ke pabrik, dan pengolahan. Kegiatan eksplorasi jika dilaksanakan tidak memperhatikan kaidah lingkungan akan berdampak pada lingkungan yaitu perusakan alam, akibat berubahnya bentang alam dan perusakan pemandangan, selain itu juga pengangkutan fosfat alam dari lokasi penambangan ke tempat proses produksi berdampak pada penurunan kualitas udara, akibat meningkatnya konsentrasi debu di udara. Aplikasi fosfat alam yang berlebihan dikhawatirkan berdampak pada meningkatnya kandungan logam berat terutama Cd pada lahan pertanian, yang dapat terakumulasi pada tanaman dan badan sungai.

Pupuk P alam mengandung bahan ikutan yang itu logam berat. Hasil analisis berbagai pupuk sumber P yang terdiri atas P-alam dari dalam negeri dan luar negeri dan SP-36 menunjukkan bahwa selain unsur utama P_2O_5 pupuk, juga mengandung unsur hara sekunder Ca, Mg, dan unsur mikro Fe, Mn, Cu, Zn, dan logam berat Cd, Cr, Pb, Cu, Hg dalam jumlah yang bervariasi yaitu Cd (0,1-170 ppm), Cr (66-245 ppm), Pb (40-2.000 ppm), dan Cu (1-300 ppm) (Setyorini, 2003). Penggunaan pupuk fosfat yang berlebihan berpotensi mencemari lingkungan pertanian apabila keberadaannya dalam tanah telah melebihi ambang batas Cd (3-8 ppm), Cr (75-100 ppm), Pb (100-400 ppm), dan Cu (60-125 ppm) (Alloway, 1990).

Penambangan dan pemanfaatan fosfat alam yang tidak memperhatikan kaidah lingkungan akan berdampak pada meningkatnya kandungan logam berat baik pada udara, air, dan tanah, yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan pada manusia, pertumbuhan tanaman, dan eutrofikasi pada kolam atau danau. Logam berat dapat menimbulkan pengaruh pada manusia yang biasanya terjadi di dalam sel tubuh. Pengaruh tersebut diantaranya adalah mengganggu reaksi kimia, menghambat absorpsi dari nutrien-nutrien yang esensial serta dapat merubah bentuk senyawa kimia yang penting menjadi tidak berguna (Doloresa, 2008).

Keracunan logam berat pada manusia terdiri atas: (1) keracunan akut, misalnya akibat paparan logam di tempat kerja yang dapat menimbulkan kerusakan paru-paru, reaksi kulit, dan gejala-gejala gastrointestinal akibat kontak singkat dengan konsentrasi yang tinggi; (2) keracunan kronik, akibat pernapasan jangka panjang dengan konsentrasi yang rendah seperti kadmium (Cd) yang menyebabkan penyakit ginjal, timbal, metil merkuri dan senyawa timah organik yang dapat menyebabkan degenerasi dan kerusakan otak, arsenik yang menyebabkan kerusakan sistem syaraf perifer, menyebabkan rasa baal, sakit dan dapat kehilangan

kontrol otot-otot ekstremitas lengan dan tungkai, debu logam yang menyebabkan kerusakan paru-paru, kromium, selenium, kadmium, nikel dan arsenik yang menyebabkan kerusakan hati, ginjal dan kanker kulit dan mutasi gen juga efek kronik lainnya; dan (3) pengaruh lainnya adalah terhadap perkembangan embrio dan bayi yang baru lahir. Masuknya logam berat ke dalam tubuh dapat mengganggu proses metabolisme.

Strategi Pengendalian Pencemaran

Penyelesaian masalah pencemaran terdiri atas langkah pencegahan dan pengendalian. Langkah pencegahan pada prinsipnya mengurangi pencemar dari sumbernya untuk mencegah dampak lingkungan yang lebih berat, yaitu: (1) menerapkan prinsip-prinsip penambangan yang berkelanjutan, yaitu dengan memperhitungkan dampak terhadap kondisi lingkungan baik fisik, kimia, maupun sosial budaya dan (2) menerapkan beberapa teknologi pengendalian residu logam berat dari fosfat alam, yang berpotensi untuk dikembangkan di kawasan lingkungan pertanian antara lain (a) teknologi peningkatan efisiensi penggunaan pupuk fosfat alam dengan diberikan secara langsung dan ditanamkan ke dalam tanah dengan takaran yang tepat; (b) teknologi fitoremediasi, yaitu memanfaatkan pertumbuhan tanaman untuk mengurangi logam berat; dan (c) teknologi bioremediasi, yaitu perbaikan tanah yang telah tercemar logam berat dengan memanfaatkan kegiatan mikroorganisme tanah.

Teknologi Penggunaan Fosfat Alam untuk Industri dan Pertanian

Fosfat alam merupakan sumber P yang dapat digunakan sebagai bahan baku industri seperti pupuk P yang mudah larut/*water-soluble P/WSP* (antara lain TSP, SP-18, SSP, DAP, MOP), bahan kimia, produk makanan dan suplemen hewan, dan detergen. Industri pupuk menggunakan sekitar 90% fosfat alam yang diproduksi di dunia. Konversi fosfat alam menjadi pupuk P

yang mudah larut memerlukan biaya tinggi, pemborosan energi dan memerlukan jumlah bahan kimia seperti asam sulfat dan asam fosfat yang besar. Oleh karena itu diperlukan peningkatan efisiensi penggunaan pupuk P. Salah satunya adalah menggunakan fosfat alam sebagai pupuk secara langsung (*direct application phosphate rock/DAPR*).

Pupuk P-alam merupakan pupuk yang mengandung P dan Ca cukup tinggi, tidak cepat larut dalam air, sehingga bersifat lambat tersedia (*slow release*) dalam penyediaan hara P, namun mempunyai pengaruh residu lama. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat Bogor menunjukkan bahwa P-alam mempunyai efektivitas yang sama baiknya dengan sumber P yang mudah larut seperti SP-36, sehingga penggunaan P-alam sebagai sumber pupuk P bisa meningkatkan efisiensi pupuk di lahan kering masam (Kurnia *et al.*, 2003).

Namun demikian tidak semua fosfat alam dapat digunakan untuk *direct application* tergantung dari reaktivitasnya karena selain harus dapat melarut juga harus dapat tersedia bagi tanaman. Fosfat alam yang mempunyai reaktivitas atau kelarutan yang relatif tinggi dapat digunakan secara langsung sebagai pupuk pada lahan kering masam. Fosfat alam juga dapat digunakan di lahan sawah masam bukaan baru atau lahan sulfat masam dengan syarat kadar Fe dalam fosfat alam rendah. Penggunaan fosfat alam secara langsung sebagai pupuk diharapkan mempunyai efektivitas yang sama dengan pupuk P yang mudah larut. Efektivitas fosfat alam ditentukan oleh beberapa faktor antara lain reaktivitas, ukuran butiran, pH tanah, dan respon/tanggap tanaman.

Fosfat alam yang mempunyai reaktivitas dan nilai RAE rendah terdapat kemungkinan untuk memperbaikinya dengan teknologi pupuk yang pada umumnya memang mengarah untuk menciptakan pupuk yang lebih efisien baik sehubungan dengan keperluan tanaman dan tanah maupun nilai ekonominya.

Teknologi pupuk untuk mengefisienkan pupuk P dapat dilakukan dengan cara biologi antara lain dengan membuat fosfo-kompos (mencampurkan fosfat alam dengan kompos), inokulasi dengan *versicular-arbuscular mycorrhiza*, menggunakan mikroorganisme pelarut P, dan menggunakan species tanaman yang toleran terhadap defisiensi P. Sastraatmadja (2001) *dalam* Widawati dan Suliasih (2008) mengemukakan bahwa bakteri pelarut fosfat dalam bahan pembawa kompos dapat menstimulir aktivitas amonifikasi, nitrifikasi, fiksasi nitrogen dan fosforilisasi, sehingga akan meningkatkan produktivitas tanah secara permanen.

Secara kimiawi dapat dilakukan dengan pengasaman sebagian dan dikenal dengan pupuk PARP (*partially acidulated phosphate rock*). Teknologi ini merupakan cara yang paling efektif untuk mengefisienkan penggunaan superfosfat dan fosfat alam. Namun hal ini bukan merupakan teknologi baru sama sekali, karena cara pembuatannya seperti pupuk superfosfat hanya penggunaan asam yang ditambahkan tidak sebanyak dalam pembuatan superfosfat. Sampai saat ini yang banyak digunakan antara 25-50% asam dan ketersediaan P lebih tinggi dari fosfat alam tetapi lebih rendah dari superfosfat. Sedangkan kandungan P dalam PARP antara 26-36% P_2O_5 . Namun demikian kualitas pupuk PARP belum ditetapkan secara pasti. Dari proses pembuatan PARP selain menggunakan asam yang lebih rendah, kapasitas pabrik dapat ditingkatkan dan dapat digunakan bahan batuan fosfat alam yang tidak dapat dipakai untuk bahan pembuatan superfosfat. Pupuk tersebut dapat digunakan pada tanah masam (Ultisols dan Oxisols) dan sebagian Inceptisols serta pada tanah netral dengan tingkat defisiensi P yang rendah.

Potensi pengembangan pertanian pada lahan kering dan sawah bukaan baru yang bersifat masam serta lahan pasang surut masih sangat besar, terutama di luar Jawa seperti di Kalimantan, Sumatera, dan Sulawesi. Kekahatan P merupakan salah satu kendala utama bagi kesuburan tanah masam. Tanah ini

memerlukan P dengan takaran tinggi untuk memperbaiki kesuburan tanah dan meningkatkan produktivitas tanaman. Untuk mengatasi kendala kekahatan P umumnya menggunakan pupuk P yang mudah larut seperti TSP, SP-36, SSP, DAP. Pupuk tersebut mudah larut dalam air sehingga sebagian besar P akan segera difiksasi oleh Al dan Fe yang terdapat di dalam tanah dan P menjadi tidak tersedia bagi tanaman. Selain itu penggunaan pupuk tersebut sangat mahal dan dengan terbatasnya subsidi pupuk maka penggunaan di tingkat petani sangat terbatas. Oleh karena itu perlu alternatif sumber pupuk P yang lain seperti fosfat alam yang harganya lebih murah dibandingkan dengan pupuk P yang mudah larut, dapat meningkatkan produktivitas tanaman dan memperbaiki kesuburan tanah. Fosfat alam merupakan sumber P yang lambat tersedia maka terjadinya fiksasi kecil sehingga pengaruh residunya cukup lama.

Fosfat alam dengan kandungan Ca setara CaO yang cukup tinggi (>40%) umumnya mempunyai reaktivitas tinggi sehingga sesuai digunakan pada tanah-tanah masam. Sebaliknya, fosfat alam dengan kandungan sesquioksida tinggi (Al_2O_3 dan Fe_2O_3) tinggi kurang sesuai digunakan pada tanah-tanah masam.

Fosfat alam dari deposit batuan sedimen sebagian besar telah mempunyai reaktivitas yang cukup memadai untuk tanaman pangan dan perkebunan. Sedangkan fosfat alam dari batuan beku mempunyai reaktivitas yang rendah sehingga perlu diasamkan dulu untuk digunakan sebagai pupuk.

Hasil penelitian penggunaan P-alam bermutu tinggi secara langsung pada tanaman perkebunan (kelapa sawit, karet dan kakao) di lahan masam dan rawa menunjukkan prospek yang baik. Efektivitas pupuk P-alam sebanding atau bahkan lebih unggul daripada pupuk TSP yang mudah larut.

Penelitian berbagai sumber dan ukuran butiran fosfat alam menunjukkan bahwa P-alam dengan kadar dan reaktivitas tinggi dengan butiran kasar (*unground*) efektif dan efisien meningkatkan

hasil padi gogo dan jagung seperti TSP. Pada tanah yang tingkat pelapukan sangat lanjut, penambahan kapur meningkatkan efisiensi penggunaan P-alam.

Penelitian serupa telah dilaksanakan di Sumatera Barat, Kalimantan Selatan, Kalimantan Barat dan Lampung dalam Proyek SebarFos menunjukkan bahwa penggunaan P-alam reaktivitas tinggi takaran 1 t ha⁻¹ secara langsung pada musim pertama dapat meningkatkan produksi jagung 20-80% dan pendapatan petani (50-80%) hingga 4 musim tanam (Santoso *et al.*, 1990).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa fosfat alam Ciamis yang digunakan untuk tanaman pangan di lahan kering masam mempunyai persentase tanggap tanaman yang relatif sama dengan fosfat alam dengan reaktivitas tinggi (impor dari Afrika Utara) dan pupuk P mudah larut selama 5 musim tanam (jagung-padi gogo-kacang tunggak-jagung-padi gogo) dengan takaran yang sama (300 kg P₂O₅ ha⁻¹) yang diberikan sekaligus pada musim tanam pertama. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa fosfat alam mempunyai efek residu untuk tanaman yang ditanam berikutnya (Tabel 39). Penggunaan fosfat alam Ciamis meningkatkan pendapatan petani sebesar 20% dibandingkan dengan penggunaan pupuk P mudah larut. Hal ini menunjukkan bahwa fosfat alam Ciamis (lokal/dalam negeri) dapat digunakan dan menguntungkan untuk tanaman pangan, serta dapat digunakan untuk memperbaiki tanah kesuburan tanah (Adiningsih dan Fairhurst, 1996).

Hasil penelitian jangka panjang aplikasi teknologi pengkayaan P tanah dengan fosfat alam selama lima musim pada tanah Oxisol dan Ultisol Pelaihari Kalimantan Selatan menunjukkan bahwa aplikasi fosfat alam sebanyak 1 t ha⁻¹ untuk lima musim tanam dapat meningkatkan hasil jagung antara 30-90%, disisi lain pendapatan meningkat 90% hingga 170%, serta nilai R/C rasio lebih tinggi. Pada musim tanam ke lima, produksi jagung sudah mulai menurun, hal ini

mengindikasikan bahwa aplikasi P-alam untuk musim berikutnya perlu dilakukan kembali. Hasil jagung pada musim kemarau (MK) selalu lebih rendah sehingga pendapatan menurun, hal ini berkaitan dengan rendahnya ketersediaan air pada MK sehingga pertumbuhan jagung terhambat karena kekeringan. Aplikasi bahan organik memberikan pengaruh positif terhadap kelarutan P-alam dalam tanah karena asam-asam organik dapat melarutkan Ca-P, Al-P, Fe-P melalui cara mensuplai proton dan mengkompleks kation sehingga P tersedia bagi tanaman (Sutriadi *et al.*, 2005).

Tabel 39. *Relative agronomic effectiveness* (RAE) fosfat alam untuk tanaman pangan pada tanah masam di Pelaihari, Kalimantan Selatan

Sumber fosfat alam	Jagung MT-1	Padi gogo MT-2	Kacang tunggak MT-3	Jagung MT-4	Padi gogo MT-5	Rata-rata
	%					
OCP Maroko	47	104	150	121	128	110
Gafsa	114	105	162	113	108	119
Tunisia						
Djebel-Onk	25	98	162	130	133	109
Aljazaer						
ICS Senegal	69	99	112	118	95	98
OTP Togo	41	89	50	130	120	86
Ciamis (Indonesia)	106	114	212	90	122	126

MT = musim tanam

Penggunaan fosfat alam secara langsung dengan takaran yang berlebihan di atas 1 t ha⁻¹ dikhawatirkan akan meningkatkan kandungan logam berat di dalam tanah. Akumulasi logam berat ini akan dapat meracuni tanaman dan residunya terbawa dalam tanaman, sehingga dapat menggaung kesehatan manusia. Beberapa cara dapat dilakukan pada tanah-tanah yang telah tercemar logam berat akibat aplikasi fosfat alam dengan takaran berlebihan, walaupun sangat jarang sekali ditemukan, adalah dengan upaya *fitoremediasi*, *bioremediasi*, dan *kemoremediasi*.

Fitoremediasi

Sampai saat ini upaya konkrit untuk menanggulangi pencemaran lahan pertanian yang tercemar logam berat masih terbatas. Salah satu cara yang relatif murah dan mudah untuk memulihkan kualitas tanah pertanian yang tercemar logam berat adalah dengan fitoremediasi. Fitoremediasi adalah penanaman berbagai jenis tanaman yang memiliki kemampuan untuk menyerap dan mengangkut berbagai B₃/logam berat dari dalam tanah (disebut *multiple uptake hyperaccumulator plants*), dan memiliki kemampuan mengangkut polutan spesifik (*specific uptake hiperaccumulator plants*) (Aiyen, 2005).

Penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dibagi ke dalam tiga proses yang berkesinambungan, yaitu: penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain, dan lokalisasi logam pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut (Lasat, 2000). Masing-masing tanaman mempunyai kemampuan yang berbeda dalam menyerap logam berat dari tanah (Tabel 40).

Akumulasi logam berat yang diserap tanaman terutama terjadi di dalam akar. Oleh karenanya serapan tumbuhan terhadap logam berat dapat ditingkatkan dengan meningkatkan biomassa akar tanaman. Priyambada *et al.* (1999) menunjukkan bahwa inokulasi tanaman dengan *Pseudomonas putida* dan *Pseudomonas fluorescens* yang mampu menghasilkan senyawa pemacu pertumbuhan tanaman, dapat meningkatkan serapan tanaman terhadap logam berat Cd melalui peningkatan pertumbuhan perakarannya. Selanjutnya Sastraatmadja (2001) dalam Widawati dan Suliasih (2008) mengemukakan bahwa bakteri pelarut fosfat dalam bahan pembawa kompos dapat menstimulir aktivitas amonifikasi, nitrifikasi, fiksasi nitrogen dan fosforilasi, sehingga akan meningkatkan produktivitas tanah secara permanen.

Tabel 40. Pemanfaatan tumbuh-tumbuhan untuk remediasi tanah tercemar logam berat

Tanaman	Perlakuan	Hasil
Enceng gondok (<i>Eichornia crassipes</i>)	Menanami media tanam (tanah) yang mengandung logam berat Cd, Hg dan Ni secara terpisah (tidak tercampur)	Dalam waktu 24 jam menyerap Cd, Hg, dan Ni masing-masing sebesar 1,35; 1,77; dan 1,16 mg g ⁻¹ (Hasim, 2003)
	Menanami media tanam (tanah) yang mengandung logam berat Cr	Menyerap secara maksimal pada pH 7 logam Cr yang semula 15 ppm turun 51,85% (Hasim, 2003)
Mendong (<i>Fimbristyllis globulosa</i>)	Menanami tanah tercemar logam berat dengan tanaman mendong	Menurunkan kadar logam Pb, Cd, Co, Fe, dan Cu pada tanah dari yang semula 15,04; 0,13; 19,90; 53,45, dan 58 ppm menjadi 12,71; 0,11; 14,13; 49,83 dan 50 ppm (Kurnia <i>et al.</i> 2004)
<i>Brassica juncea</i>	Menanami tanah tercemar logam berat dengan <i>Brassica juncea</i>	Menyerap seluruh Pb yang diberikan pada media tumbuh, Cd terserap 55%, Cr 51%, Ni 45% dan Cu 98% (Dushenkov <i>et al.</i> , 1995)

Bioremediasi

Bioremediasi adalah teknologi perbaikan tanah tercemar logam berat dengan memanfaatkan mikroorganisme yang mampu mengadsorpsi dan mendegradasi logam berat. Mikroorganisme merupakan bioremediator ampuh untuk menghilangkan logam-logam melalui mekanisme serapan secara aktif atau pasif (Volesky dan Holand, 1995). Bakteri *Bacillus* sp. potensial dalam remediasi logam berat dalam tanah (Tabel 41).

Menurut Sims *et al.* (1990), keberhasilan penanganan biologis terhadap kontaminan dalam media tanah ditentukan oleh empat faktor utama, yaitu heterogenitas limbah, konsentrasi zat atau senyawa, toksisitas dan anti degradasi, dan kondisi yang sesuai untuk pertumbuhan mikrobia.

Tabel 41. Pemanfaatan bakteri untuk remediasi logam berat

Jenis bakteri	Perlakuan	Hasil
<i>Bacillus</i> sp.	Inokulasi <i>Bacillus</i> sp. pada tanaman padi	Serapan Pb pada beras menurun 36,49% sampai 58,21%, serapan Cd pada beras menurun 31,05% sampai 51,32% (Kurnia <i>et al.</i> , 2004).
<i>Bacillus</i> sp. dan biofertilizer BioPhos	Inokulasi <i>Bacillus</i> sp. dan kombinasi biofertilizer BioPhos pada tanaman padi	Menurunkan serapan Cd pada beras 49% dan kadar Cd tanah 36% (Kurnia <i>et al.</i> , 2004)

Beberapa jenis bakteri, seperti *Pseudomonas*, *Thiobacillus*, *Bacillus*, dan bakteri penambat N dilaporkan mampu mengakumulasi logam berat. Mikroorganisme mempunyai berbagai macam cara dalam menyerap logam toksik dan beberapa mekanisme telah diketahui pada tingkat molekuler. Beberapa logam dan komponennya merupakan sasaran dalam biotransformasi yang dapat meningkatkan atau menurunkan toksik. Mikroorganisme mempunyai kemampuan menyerap logam berat (*bioremoval*). Proses *bioremoval* ion logam berat umumnya terdiri atas dua mekanisme yang melibatkan proses serapan aktif (*active uptake*) dan serapan pasif (*passive uptake*).

Kemoremediasi

Kemoremediasi digunakan untuk perbaikan tanah tercemar logam berat dengan prinsip menambahkan bahan organik terhadap tanah yang tercemar. Menurut Cunningham *et al.* (1995), limbah pertanian memberikan harapan cukup baik untuk mengatasi pencemaran tanah oleh pencemar organik atau anorganik, dengan cara: (1) stabilisasi pencemar, yaitu kondisi tanah dan vegetasi penutupnya dimanipulasi untuk mengurangi dampak lingkungan yang terjadi dan (2) proses dekontaminasi, dengan flora bersama mikrofloranya dengan maksud untuk mengeliminasi kontaminasi pencemar dari tanah (Soerjani, 2006).

Bahan organik juga dapat digunakan untuk mengimobilkan logam berat di dalam tanah. Asam fulvat dan asam humat yang terkandung dalam bahan organik dapat mengikat Pb, Fe, Mn, Cu, Ni, Zn, dan Cd pada perbandingan 1:1. Ketidaklarutan asam fulvat dan asam humat mengakibatkan ion-ion logam yang diikatnya menjadi tidak larut dan tidak tersedia bagi tumbuhan (Aiyen, 2005). Beberapa cara remediasi secara kimia dengan memanfaatkan bahan organik disajikan dalam Tabel 42.

Tabel 42. Remediasi secara kimia dengan memanfaatkan bahan organik

Jenis amelioran	Perlakuan	Hasil
Bahan organik	Takaran bahan organik jenis pupuk kandang ayam 5, 10 dan 15 g pada 100 g tailing tambang emas	Menurunkan ketersediaan Fe 93-4%, Mn 61-70 % dan Cu 23-59% dari kontrol (Suryanto dan Susetyo, 1997)
Macam bahan organik	Pemberian bahan organik, berasal dari legum, jerami padi, sampah organik, dan tandan kosong kelapa sawit	Menurunkan kadar Cd dalam batang dan daun bayam 20,5% (legum), 29,1% (sampah organik), 20,8% (jerami padi) dan 54,6% (tandan kosong kelapa sawit) dari 29,08 mg kg ⁻¹ (kontrol) (Marwantinah dan Budianta, 2002).

Bahan organik merupakan salah satu bahan amelioran yang dapat digunakan untuk menurunkan kation dan anion dari larutan tanah. Bahan ini selain berkontribusi terhadap unsur hara juga dapat menurunkan reaktivitas kation-kation meracun, sehingga kerusakan yang mungkin timbul dapat dikurangi (Ardiwinata *et al.*, 2005).

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, J.S. and T.H. Fairhurst. 1996. The use of reaktive phosphate rock for the rehabilitation of anthropic savannah in Indonesia. Page 159-174. *In* A.E. Johnston and J.K. Syers. Nutrient Management for Sustainable Crop Production in Asia.
- Aiyen. 2005. Ilmu remediasi untuk atasi pencemaran tanah di Aceh dan Sumetra.
- Ardiwinata, A.N., Juwarsih, S.Y. Jatmiko, dan E.S. Harsanti. 2005. Kemampuan adsorpsi amelioran terhadap residu insektisida Aldrin, Lindan, Heptaklor, Dieldrin dan Klorpirifos di dalam tanah. Makalah disampaikan *dalam* Seminar Nasional Pengendalian Pencemaran Lingkungan Pertanian Melalui Pendekatan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) Secara Terpadu. Surakarta Maret 2006. 14 hlm.
- Cunningham, S.D., W.R. Berti dan J.W. Huang. 1995. Phytoremediation of contaminated soils. TIBTECH. 13: 393-397.
- Doloressa, Gloria, F. Tusafariah, dan A.A. Ridawan. 2008. Tenorm pada industry fosfat dan potensi bahaya bagi kesehatan masyarakat. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II, Universitas Lampung, 17-18 November 2008.
- Effendi, H. 2003. Telaah kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Penerbit Kanisius.Yogyakarta.
- Kasno, A., D. Setyorini, dan I.G.P. Wigena. 2007. Aplikasi P-alam berkadar P tinggi pada tanah masam Inceptisol, Bogor untuk tanaman jagung. hlm. 395-409 *dalam* Pros. Lokakarya Nasional Inovasi Teknologi Pertanian Mendukung Hari Pangan Sedunia 2007. Bandar Lampung, 25-26 Oktober 2007.
- Lasat, M.M. 2000. Phytoextraction of metal from conaminated soil. J. Hazard Subs. Research 2: 1-25.

- Moersidi, S. 1999. Fosfat alam sebagai bahan baku dan pupuk fosfat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor. 82 hlm.
- Priyambada, I.D., D. Wahjuningrum dan J. Soedarsono. 1999. Effect of fluorecent pseudomonads-rhizosperic colonization on Cadmium accumulation by Indian Mustard (*Brassica juncea* L.). *Journal of Bioscience* 10: 42-46.
- Sims, J.L., R.C. Sims dan J.E. Matthews. 1990. Approach to bioremediation of contaminated soil hazard. *Waste Hazard Matter* 7: 117-149.
- Soerjani, M., A. Yuwono, dan D. Fardiaz. 2006. Lingkungan Hidup. Pendidikan, Pengelolaan Lingkungan dan Pembangunan Berkelanjutan. Yayasan Institut Pendidikan dan Pengembangan Lingkungan. Jakarta.
- Sutriadi, M.T., R. Hidayat, S. Rochayati, dan D. Setyorini. 2005. Ameliorasi lahan dengan fosfat alam untuk perbaikan kesuburan tanah kering masamTypic Hapludox di Kalimantan Selatan. hlm. 143-155 *dalam* Pros. Seminar Nasional Inovasi Teknologi Sumber Daya Tanah dan Iklim. Bogor, 14-15 September 2004. Puslittanak, Bogor.
- Volesky and Holand. 1995. Biotechnol. Prog 11. *In* Biotechnology Letter.
- Widawati, S. dan Suliasih. 2008. Augmentasi bakteri pelarut fosfat (BPF) potensila sebagai pemacu pertumbuhan caysin (*Brasica ceventis* Oed.) di tanah marginal. *Biodiversitas*. 7 (1): 10-14.