

Komposisi Fraksi-Fraksi P pada Tanah Gambut yang Diberi Bahan Amelioran Tanah Mineral dan Pemupukan P

Composition of Phosphorus Fraction on Peat Added with Mineral Soil Ameliorant and P Fertilization

W. HARTATIK¹, K. IDRIS², S. SABIHAM², S. DJUNIWATI², DAN J. SRI ADININGSIH¹

ABSTRAK

Tanah gambut mengandung P sebagian besar dalam bentuk P organik. Komposisi fraksi-fraksi P pada tanah gambut khususnya P organik jarang dipelajari. Oleh karena itu fraksionasi P pada tanah gambut untuk mengetahui proporsi P inorganik dan P organik serta ketersediaan P diteliti. Penelitian bertujuan untuk mempelajari komposisi fraksi-fraksi fosfor pada tanah gambut yang diberi bahan amelioran tanah mineral dan pupuk P. Penelitian dilakukan di laboratorium Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat Bogor. Bahan tanah gambut setara 200 g bobot kering oven 105°C diberi bahan amelioran tanah mineral Oxisols dengan takaran 7,5% erapan maksimum Fe yaitu 10,4 g pot⁻¹. Bahan tanah gambut setelah diberi bahan amelioran dan perlakuan pupuk diinkubasi 4 minggu, kemudian dilakukan fraksionasi P. Perlakuan P terdiri dari 4 sumber pupuk P yaitu fosfat alam Maroko, Christmas, Ciamis dan SP-36 dan 4 taraf takaran pupuk yaitu 25, 50, 75, dan 100% erapan P, ditambah perlakuan kontrol-tanah mineral (kontrol parsial) dan kontrol + tanah mineral (kontrol lengkap), diulang dua kali. Proporsi fraksi-fraksi P pada tanah gambut yang dipelajari yaitu fosfor mudah labil (*readily labile*), agak labil (*moderately labile*) serta tidak labil (*non labile*). Penetapan fraksi-fraksi P tersebut dilakukan dengan ekstraksi bertahap (*sequential extraction*) berdasar metode yang digunakan oleh Ivanoff. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan tanah gambut dari Air Sugihan Kiri merupakan gambut miskin (oligotropik), bereaksi masam, dengan kadar K dapat ditukar dan kadar abu yang rendah. Proporsi P tanah gambut sebagian besar dalam bentuk P organik 77 sampai 90% dan sisanya merupakan fraksi P inorganik berkisar antara 10 sampai 23%. Komposisi fraksi P organik menunjukkan bahwa proporsi fraksi agak labil relatif sama dengan fraksi tidak labil dan fraksi P organik mudah labil merupakan fraksi terendah. Sumber dan takaran fosfat alam tidak menunjukkan pengaruh terhadap fraksi P organik. Pemberian fosfat alam Maroko dan Ciamis takaran 100% erapan P meningkatkan P tersedia (P inorganik mudah labil). Fosfat alam Christmas memberikan P inorganik tidak labil lebih tinggi dari fosfat alam Maroko dan Ciamis.

Kata Kunci : Gambut, Amelioran, Pemupukan P, Komposisi P

ABSTRACT

Most of P on peat is in the form of organic P. Composition of P on peat, especially organic P, is rarely studied. Therefore fractionation of P on peat is important to know the proportion of inorganic and organic P and available P. The aim of the experiment was to study the composition of P added with mineral soil ameliorant and P fertilization. The experiment was conducted in the laboratory of the Indonesian Center for Soil and

Agroclimate Research and Development, Bogor. Two hundreds g peat dry weight (105°) added with mineral soil ameliorant in the rate of 7.5% maximum Fe sorption which is equal to 10.4 g pot⁻¹. The mixture of peat and mineral soil (Oxisols) was then added with P fertilizer and followed by incubation for 4 weeks. After incubation, the mixture was fractionated for P. P treatment consisting of four P fertilizer sources that are Maroko rock phosphate, Christmas rock phosphate, Ciamis rock phosphate and SP-36. Four P levels are 25, 50, 75, and 100% of P sorption plus partial complete control, and replicated two times. Composition of P in this study that is readily labile, moderately labile, and non labile. P fraction determined with sequential extraction based on the method had been used by Ivanoff. The results showed that peat from Air Sugihan Kiri, South Sumatra was poor (oligotrophic), acidic, and low exchangeable K and ash content. Most of P on the peat was in the proportion of organic P (around 77 up to 95%) and the rest was in a small amount, inorganic P (10 up to 23%). The composition of P organic fraction showed that the non labile was relatively the same P proportion with moderately labile, meanwhile the readily labile was low. Source and rock phosphate level did not affect the proportion of organic P. The application of Maroko and Ciamis rock phosphates at the level of 100% of P sorption increased available P (readily P inorganic). Non-labile inorganic P proportion from Christmas rock phosphate was higher than those from Maroko and Ciamis.

Key Words : Peat, Amelioration, Phosphorus fertilization, Phosphorus Composition

PENDAHULUAN

Luas lahan rawa sekitar 33,4 juta ha, yang terdiri dari 20,1 juta ha lahan rawa pasang surut dan 13,3 juta ha lahan non pasang surut atau lebak. Dari 20,1 juta ha lahan pasang surut, 2 juta ha tergolong tipologi potensial, 6,7 juta ha lahan sulfat masam, 11 juta ha lahan gambut, dan 0,4 juta ha lahan salin. Lahan gambut pada umumnya dimanfaatkan untuk tanaman pangan maupun perkebunan, walaupun tingkat produksinya masih rendah. Tanah gambut digolongkan ke dalam tanah marginal, dicirikan oleh reaksi tanah yang masam hingga

1. Balittanah
2. Fakultas Pertanian, IPB

sangat masam, ketersediaan hara dan kejenuhan basa yang rendah, dan kandungan asam-asam organik yang tinggi, terutama derivat asam fenolat yang bersifat racun bagi tanaman (Tadano *et al.*, 1990; Rachim, 1995; Prasetyo, 1996; Salampak, 1999).

Asam-asam fenolat tersebut merupakan hasil biodegradasi anaerob dari senyawa lignin dalam bahan asal kayu-kayuan (Tsutsuki dan Kondo, 1995). Pengaruh buruk dari derivat asam-asam fenolat dapat dikurangi dengan pemberian bahan amelioran tanah mineral yang mengandung kation-kation polivalen seperti Al, Fe, Cu, Zn (Rachim, 1995; Prasetyo, 1996; Saragih 1996). Penelitian Saragih (1996) menunjukkan bahwa kation Fe^{+3} lebih efektif dan stabil berikatan dengan senyawa-senyawa organik dalam gambut dibandingkan dengan kation Al^{+3} , Ca^{+2} , Cu^{+2} , Fe^{+2} . Demikian juga penggunaan kation Fe sangat baik bagi pengikatan P sehingga dapat mengkonservasi dan meningkatkan ketersediaan P (Rachim, 1995).

Tanah gambut mengandung P sebagian besar dalam bentuk P organik (Po), yang kemudian akan mengalami proses mineralisasi menjadi P inorganik (Pi) oleh jasad mikro. Umumnya bentuk-bentuk P organik ditemukan dalam bentuk inositol fosfat terutama hexafosfat (di atas 60% dari total P organik (TPo) organik) (Anderson 1967; Halstead dan McKercher 1975). Bentuk-bentuk lain, seperti fosfolipid, asam nukleat, glukosa-1-fosfat, gliserolfosfat, dan protein fosfat dalam tanah hanya sekitar 2% dari total P organik (Stewart and Tiessen, 1987).

Fraksi P organik diperkirakan mengandung 2% P sebagai asam nukleat, 1% 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 mikroba (Stevenson, 1994).

Proses mineralisasi P organik oleh jasad mikro sangat dipengaruhi oleh nisbah C dan P. Bila nisbah C dan P mencapai 300 akan terjadi immobilisasi P oleh jasad mikro, P akan digunakan sebagai energi dan penyusun struktur sel jasad mikro. Sedangkan bila nisbah C dan P mencapai 200, proses mineralisasi akan berjalan lebih cepat daripada proses immobilisasi, sehingga P akan dapat lebih tersedia bagi tanaman. Menurut Tisdale *et al.*, (1985) proses mineralisasi akan lebih konstan bila nisbah C, N dan P mencapai nilai sebesar 100:10:1. Dengan demikian proses mineralisasi yang terjadi pada tanah gambut berlangsung lambat, karena selang nisbah C dan P sangat lebar (Miller dan Donahue, 1990).

Untuk mengidentifikasi senyawa P organik, beberapa peneliti menggunakan *liquid chromatography* dan resonansi magnetik ^{32}P . Cross dan Schlesinger (1995) melaporkan hampir tidak ada data fraksionasi P organik untuk Histosols. Ivanoff *et al.* (1998) mengembangkan metode fraksionasi kimia P organik dengan ekstraksi asam dan basa mendapatkan fraksi P organik tidak labil dominan pada gambut Everglades. Fosfat residu berturut-turut sebesar 13, 29, dan 8% pada Histosols yang diusahakan, tidak diusahakan dan yang digenangi. Sedangkan P-fulvik sekitar 18% dan P-humik sekitar 12%. Hasil penelitian Astiana (1977) pada tanah gambut Delta Upang yang baru dibuka dengan kadar C-organik antara 35,4 sampai 52% menunjukkan bahwa fraksi P organik paling tinggi, kemudian diikuti fraksi Fe-P, Al-P, Ca-P, dan P-terselubung.

Pemberian tanah mineral berkadar besi tinggi sampai takaran 7,5% erapan maksimum besi mampu menurunkan konsentrasi asam-asam fenolat sekitar 30% dan meningkatkan produksi padi sekitar 2 t ha⁻¹ (Salampak, 1999). Kation besi dari amelioran tanah mineral dapat menimbulkan tapak erapan baru pada gambut sehingga ikatan fosfat menjadi lebih kuat dan tidak mudah lepas. Kation besi berperan sebagai jembatan pengikat fosfat pada tapak erapan

reaktif gambut sehingga hara P dari tapak reaktif gambut dapat dilepaskan secara lambat dan kebutuhan tanaman dapat dipenuhi secara baik.

Prospek penggunaan fosfat alam sebagai sumber P pada tanah gambut diharapkan cukup baik, karena mudah larut dalam kondisi masam serta dapat melepaskan fosfat secara lambat (*slow released*), namun informasi penggunaan fosfat alam dan komposisi fraksi-fraksi P pada tanah gambut masih sangat terbatas. Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian ini bertujuan mempelajari komposisi fraksi-fraksi fosfor pada tanah gambut yang diberi bahan amelioran tanah mineral dan pemupukan P.

BAHAN DAN METODE

Bahan penelitian

Penelitian dilakukan di laboratorium Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor menggunakan tanah gambut dari Air Sugihan Kiri, Sumatera Selatan dalam klasifikasi Taxonomi tanah tergolong Sulfihemist Terik. Bahan tanah gambut mempunyai tingkat dekomposisi hemik dengan kadar air 450%, bobot volume berkisar 0,16 sampai 0,21 g cc⁻¹ dan ketebalan gambut 100 sampai 120 cm. Bahan amelioran tanah mineral diambil dari Desa Dwijaya, Kecamatan Tugumulyo, Sumatera Selatan. Fosfat yang digunakan adalah fosfat alam dari Maroko, Christmas, Ciamis dan SP-36.

Metode penelitian

Bahan tanah gambut setara 200 g bobot kering oven 105°C diberi bahan amelioran tanah mineral (Oxisols) berasal dari Tugumulyo dengan takaran 7,5% erapan maksimum Fe yaitu 10,4 g pot⁻¹ atau setara 21,8 t ha⁻¹ (perhitungan ini berdasarkan kandungan Fe total bahan amelioran 6,1% dan kelarutan Fe sebesar 13%). Bahan tanah gambut setelah diberi bahan amelioran dan perlakuan pupuk diinkubasi 4 minggu, kemudian dilakukan fraksionasi P. Perlakuan P terdiri dari 4

taraf takaran pupuk P yaitu 25, 50, 75 dan 100% erapan P, ditambah perlakuan kontrol-tanah mineral (kontrol parsial) dan kontrol+tanah mineral (kontrol lengkap), diulang dua kali. Takaran fosfat alam berdasarkan erapan P untuk mencapai P dalam larutan tanah 0,2 ppm P yaitu sebesar 81,33 ppm P. Takaran 100% erapan P untuk fosfat alam Maroko, Christmas, Ciamis dan SP-36 masing-masing sebesar 133 mg pot⁻¹ (280 kg ha⁻¹), 123 mg pot⁻¹ (260 kg ha⁻¹), 108 mg pot⁻¹ (230 kg ha⁻¹), dan 104 mg pot⁻¹ (217 kg ha⁻¹).

Metode fraksionasi fosfor

Komposisi fraksi-fraksi P pada tanah gambut yang dipelajari yaitu fosfat mudah labil, agak labil serta tidak labil. Penetapan fraksi-fraksi P tersebut dilakukan dengan ekstraksi bertahap (*sequential extraction*) berdasar metode yang digunakan oleh Ivanoff *et al.* (1998). Sedangkan P larutan dianalisis dengan metode biru molibdat.

Pi dan Po mudah labil

Ditimbang 2 x 1 g setara bobot kering oven (105°C) bahan tanah gambut yang telah diperlakukan dan masing-masing dimasukkan ke dalam tabung sentrifusi 100 ml. Ditambahkan ke dalam masing-masing tabung sentrifusi 25 ml NaHCO₃ 0,5 M dan dikocok selama 16 jam. Suspensi disentrifusi, larutan supernatan dipisahkan ke dalam tabung kimia dan residu tanah disimpan (Residu 1). Supernatan langsung digunakan dalam penetapan Pi dengan metode biru molibdat dengan pengekstrak NaHCO₃ 0,5 M, pH 8,5. Untuk total P (TP) supernatan didiges terlebih dengan H₂SO₄ dan kalium ferosulfat (Bowman, 1989) sebelum P ditetapkan dengan metode biru molibdat. Selisih TP dengan Pi adalah Po mudah labil.

Po agak labil dan tidak labil

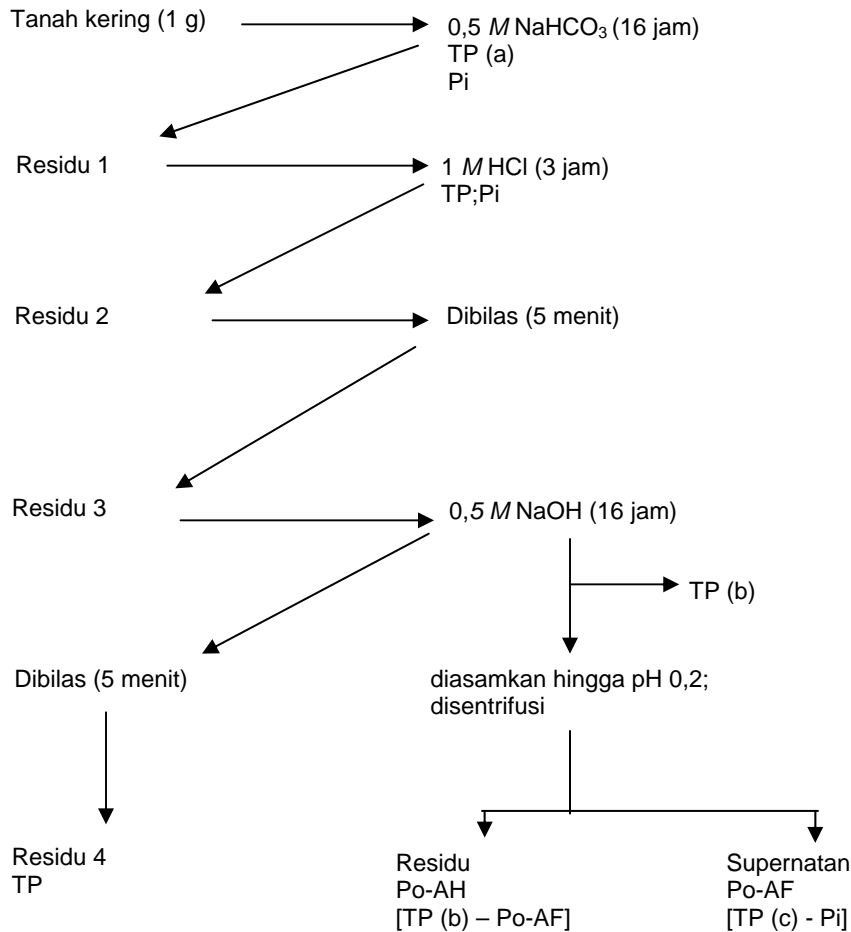
Residu 1 dalam tabung sentrifusi diekstrak lagi dengan 25 ml larutan HCl 1 M selama 3 jam. Suspensi disentrifusi, larutan supernatan dipisahkan

ke dalam tabung kimia dan residu tanah disimpan (Residu 2). Supernatan digunakan untuk penetapan Pi dengan metode biru molibdat. Untuk TP supernatan didiges terlebih dengan H₂SO₄ dan kalium ferosulfat (Bowman, 1989) sebelum P ditetapkan dengan metode biru molibdat. Selisih kadar TP dengan Pi adalah Po agak labil, sedangkan Pi disini merupakan bagian dari Pi yang pertama sehingga perlu dijumlahkan.

Residu 2 dalam tabung sentrifusi diekstrak dengan 25 ml air bebas ion selama 5 menit, setelah disentrifusi supernatan dibuang dan residu disimpan (Residu 3). Residu 3 diekstrak dengan 25 ml larutan NaOH 0,5 M selama 16 jam. Ekstrak disentrifusi, residu 4 disimpan setelah dibilas dengan air bebas ion, sedangkan supernatan digunakan untuk penetapan TP (b) setelah didiges. Kemudian ekstrak

diasamkan hingga pH 0,2 dengan HCl pekat. Setelah disentrifusi supernatan digunakan langsung untuk penetapan Pi dan setelah didiges untuk TP (c). Kadar Pi-AF (asam fulvik) merupakan Po agak labil dihitung dari TP (c) dikurangi Pi nya, sedangkan kadar Po-AH (asam humik) merupakan Po tidak labil dihitung dari TP (b) dikurangi Po-AF (Gambar 1).

Residu 4 dibilas dengan cara ekstraksi menggunakan 25 ml air yang dikocok selama 5 menit. Setelah disentrifusi supernatan dibuang. Residu yang telah dibilas diabukan pada 550°C selama 1 jam, larutkan dalam H₂SO₄ 1 M dengan mengocoknya selama 24 jam. Kadar Po tidak labil yang sangat resisten ditetapkan dari ekstrak ini. Bagan alur fraksionasi P organik untuk menentukan fraksi mudah labil, agak labil dan tidak labil disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan alur fraksionasi kimia fosfor tanah gambut (Ivanoff *et al.*, 1998)

Figure 1. Flowchart chemical fractionation of phosphorus on peat soil (Ivanoff *et al.*, 1998)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ciri kimia bahan tanah gambut

Hasil analisis pendahuluan terhadap ciri-ciri kimia bahan tanah gambut disajikan pada Tabel 1. Nilai pH H₂O berdasarkan kriteria yang diajukan oleh IPB (1983) tergolong sangat masam. Reaksi tanah gambut berkaitan erat dengan kandungan asam-asam organiknya (Salampak, 1999).

Tabel 1. Ciri kimia bahan tanah gambut dari Air Sugihan Kiri, Sumatera Selatan

Table 1. Chemical properties of peat from Air Sugihan Kiri, South Sumatra

Ciri tanah	Hasil analisis
pH	
H ₂ O	3,8
KCl	2,9
Bahan organik	
C (%)	58,76
N (%)	1,54
C/N	38,5
P- Bray I (ppm)	18,5
Kapasitas tukar kation (cmol _c kg ⁻¹ tanah)	119,66
Kation dapat dipertukarkan	
Ca (cmol _c kg ⁻¹ tanah)	17,61
Mg (cmol _c kg ⁻¹ tanah)	5,38
K (cmol _c kg ⁻¹ tanah)	0,22
Na (cmol _c kg ⁻¹ tanah)	0,71
Kejenuhan basa (%)	20
KCl 1N	
Al ³⁺ (cmol _c kg ⁻¹ tanah)	1,4
H ⁺ (cmol _c kg ⁻¹ tanah)	3,15
Fe-total (%)	0,17
Kadar abu (%)	3,6
Unsur mikro ekstrak DTPA	
Fe (ppm)	726
Mn (ppm)	9,42
Cu (ppm)	3,58
Zn (ppm)	9,20

Kadar abu 3,6% bahan tanah gambut tergolong rendah dan sisa pemijaran 96,4%. Hal ini menunjukkan bahwa gambut tersebut tergolong gambut murni (*true peat*) karena mempunyai rata-rata kehilangan pijar lebih dari 90% (Andriess, 1974). Kadar abu gambut sangat dipengaruhi oleh bahan mineral di bawahnya, dan limpasan pasang air sungai dan air laut yang banyak membawa bahan

mineral. Bahan mineral yang berada di bawah gambut Air Sugihan Kiri adalah tanah liat, sehingga bahan tanah liat yang halus dapat tercampur dengan gambut di lapisan atasnya akibat pergerakan air kapiler dan naik turunnya permukaan air tanah akibat pengaruh pasang surut air laut. Menurut kriteria penggolongan tingkat kesuburan tanah gambut yang dikemukakan oleh Polak (1949), kadar hara P, K, dan Ca serta kadar abu, gambut tersebut tergolong ke dalam tingkat kesuburan oligotropik, hal ini karena pengusahaan lahan dengan membuat saluran-saluran drainase menyebabkan terjadi pencucian hara yang cukup intensif.

Berdasarkan kriteria IPB (1983) kandungan nitrogen total (N-total) dan C-organik tergolong tinggi. Kandungan N total yang tinggi tidak diikuti oleh tingginya ketersediaan N bagi tanaman yang tercermin dari nisbah C/N yang tinggi yaitu 38,5. Menurut Tisdale *et al.* (1985) jika bahan organik mempunyai nisbah C/N > 30 akan terjadi proses immobilisasi N, dimana N yang dihasilkan dari proses mineralisasi digunakan oleh jasad mikro untuk kebutuhan hidupnya.

Hampir 98% N total tanah berada dalam bentuk senyawa organik. Di sisi lain, tanaman menyerap unsur N dalam bentuk senyawa NH₄⁺ dan NO₃⁻. Kedua senyawa ini akan terbentuk setelah melalui proses aminisasi, amonifikasi dan nitrifikasi. Menurut Tisdale *et al.* (1985) faktor-faktor yang berpengaruh terhadap ketiga proses tersebut diantaranya pH tanah, kandungan unsur-unsur hara, senyawa yang mudah terdegradasi. Tanpa melalui proses ini kahat N pada tanaman dapat terjadi meskipun kandungan bahan organik tergolong tinggi. Pada kondisi pH tanah kurang dari 4,0 diduga proses-proses tersebut berjalan sangat lambat, sehingga pelepasan NH₄⁺ dan NO₃⁻ sangat lambat. Hasil analisis NH₄⁺ pada bahan gambut Air Sugihan Kiri dengan inkubasi anaerob menunjukkan bahwa produksi NH₄⁺ selama 2 minggu berkisar antara 10 sampai 90 ppm NH₄⁺ (IPB, 1976). Pada tahap berikutnya senyawa ini mengalami nitrifikasi sehingga diperkirakan jumlah NH₄⁺ yang terbentuk lebih rendah lagi.

Kandungan fosfor ekstrak Bray I tergolong sedang. Gambut dari Air Sugihan Kiri telah lama diusahakan sebagai lahan pertanian. Rachim (1995) mengemukakan lamanya perusahaan dapat meningkatkan P terekstrak dengan Bray I, peningkatan ini berkaitan dengan dekomposisi dan mineralisasi bahan organik, sehingga unsur P menjadi terlepas. Mineralisasi P dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya nisbah C-organik dan P. Pada nisbah 200 : 1 mineralisasi P dapat terjadi, sedangkan pada nisbah 300 : 1 immobilisasi berlangsung (Tisdale, *et al.*, 1985).

Kapasitas tukar kation tergolong sangat tinggi yaitu 119,66 cmol_c kg⁻¹ tanah. Tanah-tanah yang mempunyai kandungan bahan organik tinggi dengan tingkat humifikasi lanjut menyebabkan tanah tersebut mempunyai daya sangga yang tinggi karena mengandung gugus-gugus reaktif yang tinggi. Jumlah gugus reaktif ini menentukan jumlah muatan sekaligus menentukan KTK tanah.

Basa-basa dapat ditukar yaitu Ca-dd dan Mg-dd tergolong tinggi, K-dd sangat rendah dan Na-dd sedang. Tingginya Ca-dd dan Mg-dd diduga berasal dari residu pemberian dolomit pada musim tanam sebelumnya, atau sumbangan dari limpasan pasang air sungai dan laut. Namun kejenuhan basa tergolong rendah. Kejenuhan basa mempunyai hubungan yang erat dengan kadar abu. Kadar abu dari gambut Air Sugihan Kiri rendah, sehingga kejenuhan basa juga rendah.

Kandungan Al-dd yaitu sebesar 1,4 cmol_c kg⁻¹ tanah, sedangkan kandungan Fe-total sebesar 0,17%. Secara umum kadar Cu, Zn, Mn dan Fe yang diekstrak dengan DTPA masih tergolong rendah. Rendahnya kation polivalen ini berkaitan dengan terbentuknya ikatan yang kuat antara kation (terutama Cu) dengan senyawa organik dari tanah gambut.

Dari uraian diatas dapat dikemukakan bahwa bahan tanah gambut dari Air Sugihan Kiri merupakan gambut miskin (oligotropik), bereaksi sangat masam dengan kadar K dapat ditukar dan kadar abu yang rendah.

Ciri kimia Oxisols Tugumulyo Sumatera Selatan sebagai bahan amelioran

Hasil analisis ciri-ciri kimia bahan amelioran tanah mineral disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Ciri kimia Oxisols Tugumulyo, Sumatera Selatan sebagai bahan amelioran

Table 2. Chemical properties of Oxisols Tugumulyo, South Sumatra as ameliorant material

Ciri tanah	Hasil analisis
Tekstur	
Pasir (%)	5
Debu (%)	12
Liat (%)	83
pH	
H ₂ O	4,5
KCl	3,9
Bahan organik	
C (%)	0,85
N (%)	0,09
C/N	9
Ekstrak HCl 25%	
P (ppm)	30,56
K (ppm)	26,20
P- Bray I (ppm)	2,88
Kation dapat dipertukarkan	
Ca (cmol _c kg ⁻¹ tanah)	0,55
Mg (cmol _c kg ⁻¹ tanah)	0,22
K (cmol _c kg ⁻¹ tanah)	0,10
Na (cmol _c kg ⁻¹ tanah)	0,14
Kapasitas tukar kation (cmol _c kg ⁻¹ tanah)	9,11
Kejenuhan basa (%)	11
KCl 1N	
Al ³⁺ (cmol _c kg ⁻¹ tanah)	4,35
H ⁺ (cmol _c kg ⁻¹ tanah)	0,09
Ekstrak DTPA	
Fe (ppm)	0,06
Mn (ppm)	0,10
Cu (ppm)	0,08
Zn (ppm)	0,33
Fe-total (%)	6,1
Fe ₂ O ₃ ekstrak dithionit sitrat bikarbonat (%)	0,79
Mineral besi dominan	goetit

Bahan amelioran berasal dari tanah Tugumulyo Sumatera Selatan yang dalam tingkat famili diklasifikasikan sebagai Typic Hapludox, sangat halus, kaolinitik, isohipertemik. Berdasarkan analisis mineral liat dengan XRD menunjukkan selain kaolinit juga terdapat sedikit vermikulit.

Berdasarkan kriteria Pusat Penelitian Tanah (1998) reaksi tanah tergolong masam. Kadar C-organik dan N-total sangat rendah dengan nisbah C/N rendah. Fosfor ekstrak HCl, maupun ekstrak Bray I tergolong sangat rendah. Demikian juga Kalium ekstrak HCl tergolong sangat rendah.

Basa-basa dapat ditukar Ca-dd; Mg-dd; K-dd; dan Na-dd tergolong sangat rendah sampai rendah. Kapasitas tukar kation tergolong rendah. Kejenuhan basa tergolong sangat rendah. Secara umum ketersediaan unsur mikro Cu dan Zn tergolong rendah.

Berdasarkan ciri-ciri kimianya, tanah mineral Tugumulyo merupakan tanah marginal dengan kesuburan rendah, namun disisi lain tanah mineral tersebut mengandung Fe total 6,1% dan Al-dd 4,35 cmol_c kg⁻¹ tanah yang sangat diperlukan oleh tanah gambut sebagai sumber kation Fe untuk meningkatkan retensi fosfat melalui pembentukan senyawa kompleks kation logam organik.

Ciri kimia fosfat alam yang digunakan

Hasil analisis pupuk fosfat alam disajikan pada Tabel 3. Penilaian pupuk fosfat secara kimia dapat ditentukan dari kandungan P₂O₅ dengan cara mengekstrak dalam beberapa asam. Kadar P₂O₅ total ditentukan dengan asam keras (asam mineral), yaitu dengan menggunakan campuran asam nitrat, asam sulfat, atau perklorat dengan konsentrasi agak pekat. Sedangkan untuk ketersediaan P₂O₅ digunakan asam sitrat 2%. Kelemahan dari kelarutan P dalam sitrat ini karena dipengaruhi oleh kualitas batuan atau terdapatnya mineral lain seperti silikat, kalsit, dolomitik, liat dan oksida-oksida. Pupuk fosfat alam yang digunakan secara langsung keefektifannya dipengaruhi oleh sifat fisik dan kimia pupuk, faktor tanah dan lingkungan serta faktor tanaman. Sifat kimia dan fisik pupuk yang penting adalah reaktivitas, kelarutan, dan ukuran butir pupuk (Rajan *et al.*, 1996).

Kadar P₂O₅ total pupuk fosfat alam Maroko lebih rendah dari Christmas dan Ciamis. Sedangkan untuk kadar P₂O₅ dengan pengekstrak asam sitrat 2% fosfat alam Ciamis paling tinggi diikuti Maroko dan terendah Christmas. Fosfat alam Ciamis mempunyai kadar P₂O₅ total paling tinggi dan kadar P₂O₅ dengan pengekstrak asam sitrat 2% dua kali lebih tinggi dari fosfat alam Maroko dan Christmas (Tabel 3).

Penggunaan pengekstrak asam lemah seperti asam sitrat 2% dapat digunakan sebagai indikator P tersedia bagi tanaman. Nilai yang dihasilkan dari metode ekstraksi tersebut mempunyai korelasi yang tinggi dengan tanggap tanaman (efektivitas agronomi relatif) (Sedyarso, 1999). Persen kelarutan P₂O₅ dalam asam sitrat 2% terhadap P₂O₅ total disajikan dalam Tabel 4. Dari Tabel terlihat bahwa ciri kimia kelarutan P₂O₅ dalam asam sitrat 2% terhadap P₂O₅ total, fosfat alam Ciamis lebih tinggi dari Maroko dan yang terendah Christmas.

Fosfat alam Maroko merupakan deposit fosfat batuan sedimen (*marine phosphorite deposit*) yang terjadi pada lingkungan yang kaya Ca (McClellan, 1978), dengan kandungan seskuioksida rendah, sedangkan fosfat alam Ciamis merupakan deposit guano dengan kandungan seskuioksida sedikit lebih tinggi. Kadar Ca setara CaO fosfat alam Maroko dan Ciamis cukup tinggi sehingga secara kimia dikelompokkan karbonat kalsium-fosfat (francolit). Fosfat alam Christmas merupakan batuan terfosfatasi dari guano yang dalam pembentukannya terjadi akumulasi Al dan Fe fosfat (Chien dan Van Kauwenberg, 1992), dengan kandungan seskuioksida tinggi (Fe₂O₃ 6,3% dan Al₂O₃ 14,77%) dan kadar Ca setara CaO sebesar 26,15%. Fosfat alam Christmas walaupun mengandung Fe dan Al tinggi, namun kadar kalsium cukup tinggi sehingga secara kimia dikelompokkan karbonat kalsium-(Al, Fe)-fosfat.

Tabel 3. Ciri kimia beberapa jenis fosfat alam yang digunakan dalam penelitian

Table 3. Chemical properties of some rock phosphate used in the experiment

No.	Ciri kimia	Satuan	Hasil analisis		
			Maroko	Christmas	Ciamis
1.	Kadar unsur hara fosfor sebagai P ₂ O ₅				
	a. Total (asam mineral)	% b/b	28,04	30,22	34,38
	b. Larut dalam asam sitrat 2%	% b/b	14,32	12,00	28,24
2.	Kadar Ca setara CaO	% b/b	46,70	26,15	45,65
3.	Kadar Mg setara MgO	% b/b	1,20	0,47	0,13
4.	Kadar seskuioksida (R ₂ O ₃)				
	a. Al ₂ O ₃	% b/b	0,29	14,77	1,43
	b. Fe ₂ O ₃	% b/b	0,15	6,30	0,39
5.	Kadar air	% b/b	1,09	1,65	2,88
5.	Kehalusan lolos 80 mesh tyler	% b/b	60	80	80
6.	Kandungan logam				
	a. Mangan (Mn)	(ppm)	5	619	1680
	b. Seng (Zn)	(ppm)	651	414	4746
	c. Tembaga (Cu)	(ppm)	28	76	558
7.	Cemaran Logam Berat				
	a. Cadmium (Cd)	(ppm)	59	25	12
	b. Chrom (Cr)	(ppm)	375	322	22
	c. Timbal (Pb)	(ppm)	tu	tu	tu

Keterangan : Semua analisis atas dasar bahan kering
 tu = tidak terukur %b/b = persen berat per berat

Tabel 4. Persen kelarutan P₂O₅ dalam asam sitrat 2% terhadap P₂O₅ total

Table 4. Solubility percentage of P₂O₅ on citric acid 2% with total P₂O₅

Jenis fosfat alam	Kadar P ₂ O ₅ total	Kadar P ₂ O ₅ dalam asam sitrat 2%	Kelarutan dalam asam sitrat 2% terhadap kadar P ₂ O ₅ total
 %		
Maroko	28,04	14,32	51,07
Christmas	30,22	12,00	39,71
Ciamis	34,38	28,24	82,14

Kandungan Ca yang tinggi pada fosfat alam ini sangat bermanfaat untuk meningkatkan kejenuhan basa dan menambah hara Ca untuk tanaman. Fosfat alam Maroko memberikan kadar Mg yang lebih tinggi dari fosfat alam Ciamis dan Christmas. Kehalusan lolos 80 mesh tyler fosfat alam Christmas dan Ciamis yaitu 80%, sedangkan Maroko 60%. Ukuran butir fosfat alam Ciamis dan Christmas cukup halus, sedangkan fosfat alam Maroko sedikit lebih kasar. Peningkatan kelarutan fosfat alam akibat kehalusan butir pupuk hanya berlaku untuk fosfat

alam yang reaktivitasnya tinggi (Khasawneh and Doll, 1978).

Kadar Mn, Cu dan Zn fosfat alam Ciamis lebih tinggi dari fosfat alam Christmas dan Maroko. Sedyarso (1999) dan Rachim (1995) melaporkan bahwa fosfat alam dari Indonesia mempunyai kadar Cu dan Zn lebih tinggi. Adanya kadar Mn, Cu, Zn yang lebih tinggi pada fosfat alam Ciamis menguntungkan untuk memenuhi kebutuhan unsur mikro tanaman dan dapat berfungsi sebagai kation polivalen dalam pembentukan senyawa kompleks untuk menurunkan derivat asam-asam fenolat. Berdasarkan syarat mutu pupuk fosfat alam (SNI 02-3776-1995), fosfat alam Maroko dan Ciamis tergolong fosfat alam mutu (kualitas) A, sedangkan fosfat alam Christmas tergolong mutu C, karena kadar Ca kurang dari 40% dan kadar seskuioksida lebih dari 12% untuk Al₂O₃.

Cemaran logam berat Cd dan Cr fosfat alam Christmas dan Maroko lebih tinggi dari fosfat alam Ciamis. Alloway (1990) mengemukakan bahwa

Tabel 5. Komposisi P inorganik mudah labil dan tidak labil*Table 5. Composition of readily labile and non labile inorganic P*

Perlakuan	Pi mudah labil		Pi tidak labil		Jumlah Pi tidak labil
	0,5 M NaHCO ₃	1 M HCl	0,5 M NaOH		
 % total P tanah				
Kontrol - TM	6,72	2,23	2,92	5,15	
Kontrol	3,86	2,36	3,79	6,15	
Maroko 25%	4,32	2,88	3,09	5,97	
Maroko 50%	6,00	3,73	3,19	6,92	
Maroko 75	6,93	3,80	7,54	11,34	
Maroko 100%	12,99	5,52	4,29	9,81	
Christmas 25%	5,10	2,92	8,85	11,77	
Christmas 50%	4,15	2,59	12,43	15,02	
Christmas 75%	3,98	2,50	13,19	15,69	
Christmas 100%	2,75	2,65	14,83	17,48	
Ciamis 25%	3,66	2,68	6,99	9,67	
Ciamis 50%	5,33	3,82	4,58	8,40	
Ciamis 75%	7,71	4,59	8,24	12,83	
Ciamis 100%	8,68	4,06	7,89	11,95	
SP-36 25%	3,26	3,17	8,06	11,23	
SP-36 50%	4,51	3,86	8,55	12,41	
SP-36 75%	5,93	4,89	8,07	12,96	
SP-36 100%	11,25	5,45	5,17	10,62	

kandungan Cd dalam fosfat alam dijumpai dalam kisaran 1,94 – 113 mg kg⁻¹ pupuk dan secara umum bahan baku batuan fosfat untuk pupuk P mengandung Cd < 500 mg kg⁻¹. Seiring dengan meningkatnya kepedulian terhadap kesehatan lingkungan akibat pencemaran Cd, beberapa produsen pupuk telah mengganti bahan baku batuan fosfat yang mengandung Cd rendah. Hasil survai dari 66 contoh pupuk menunjukkan bahwa kandungan Cd dalam bahan baku batuan fosfat sekitar 36,7 mg Cd kg⁻¹ P₂O₅ atau 84 mg Cd kg⁻¹ P (Alloway, 1990). Menurut batasan Uni Eropa (1994) dalam Laegreid *et al.* (1999) kandungan Cd dalam fosfat alam yang digunakan secara langsung tidak boleh lebih dari 90 mg Cd kg⁻¹ P₂O₅ atau 210 mg Cd kg⁻¹ P.

Perhitungan empiris didasarkan pada kadar Cd dalam pupuk dan takaran pupuk P dibandingkan dengan batas kritis Cd dalam tanah. Rata-rata kadar Cd dalam fosfat alam yang beredar di Indonesia sekitar 50 mg kg⁻¹. Bila diasumsikan dalam sistem tertutup diberikan takaran pupuk maksimal 1.000 kg

ha⁻¹ dengan masa tanam 2 kali, maka jumlah Cd yang disumbangkan ke dalam tanah masih jauh lebih rendah daripada batas kritis Cd dalam tanah yaitu 3 ppm menurut Alloway (1990). Hasil perhitungan diperoleh batas maksimal Cd dalam pupuk sekitar 100 mg kg⁻¹ (Setyorini *et al.*, 2002). Berdasarkan hal diatas maka cemaran logam Cd dalam fosfat alam yang digunakan masih dibawah ambang batas yang diperbolehkan. Sedangkan cemaran logam Cr dan Pb rendah. Lagreid *et al.* (1999) mengemukakan bahwa rata-rata Cr dalam batuan fosfat yaitu 770 mg kg⁻¹ P.

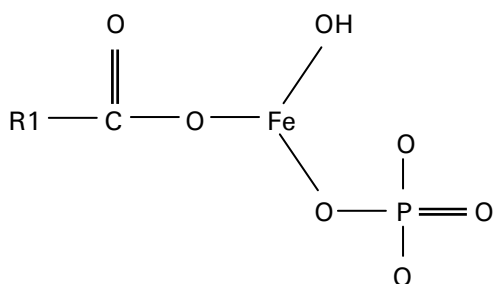
Pemupukan fosfat alam yang mengandung logam berat dibawah batas ambang pada tanah gambut tidak terlalu beresiko dibandingkan pada tanah mineral, karena pada tanah gambut terjadi pembentukan senyawa kompleks organo kation yang memegang peranan penting dalam mengontrol konsentrasi logam berat di dalam tanah gambut. Dengan pembentukan senyawa kompleks, kadar suatu logam berat dapat diturunkan sampai ke taraf yang tidak toksik, hal ini terutama terjadi bila senyawa kompleks organo kation mempunyai kelarutan yang rendah.

Fraksionasi kimia fosfat tanah gambut

P inorganik

Proporsi fraksi-fraksi Pi yang dinyatakan dalam persen (%) meliputi fraksi Pi mudah labil (Pi – NaHCO₃) yang merupakan Pi terikat lemah, dan Pi tidak labil (Pi – HCl dan Pi – NaOH) yang merupakan Pi yang terkhelat disajikan pada Tabel 5. Secara umum proporsi fraksi Pi mudah labil lebih rendah dari fraksi tidak labil. Ivanoff *et al.* (1998) mengemukakan bahwa Pi fraksi mudah labil merupakan fraksi yang kecil (3-5%).

Proporsi fraksi P_i mudah labil pada perlakuan kontrol tanpa tanah mineral lebih tinggi dibandingkan dengan pemberian bahan amelioran. Hal ini disebabkan pemberian bahan amelioran akan memberikan tapak-tapak erapan P yang baru, sehingga P akan berikatan dengan Fe dari bahan amelioran. Pemberian kation polivalen Fe melalui bahan amelioran tanah mineral akan meningkatkan ikatan antara P dan asam-asam organik melalui jembatan kation. Menurut Mattingly (1985) kemungkinan reaksi yang terjadi digambarkan sebagai berikut:



Proporsi fraksi P_i mudah labil pada perlakuan fosfat alam Maroko, Christmas, Ciamis dan SP-36 pada tanah gambut yang diberi bahan amelioran berturut-turut berkisar 4,32- 12,99; 2,75 - 5,10; 3,66 - 8,68; dan 3,26 - 11,25%. Fosfat alam Maroko, Ciamis dan SP-36 memberikan proporsi fraksi P_i mudah labil lebih tinggi dibandingkan Christmas. Peningkatan takaran fosfat alam Maroko, Ciamis dan SP-36 umumnya menunjukkan peningkatan proporsi P_i fraksi mudah labil terutama pada takaran 100%, sedangkan pada fosfat alam Christmas tidak terjadi peningkatan proporsi P_i fraksi mudah labil. Hal ini disebabkan fosfat alam Maroko dan Ciamis serta SP-36 mempunyai kelarutan yang lebih tinggi dari Christmas (Tabel 4) yang merupakan sumber dari fraksi P_i mudah labil.

Kisaran proporsi P_i fraksi tidak labil pada perlakuan fosfat alam Maroko, Christmas, Ciamis dan SP-36 sebesar 5,97 - 11,34; 11,77 - 17,48; 8,40 - 12,83 dan 10,62 - 12,96%. Peningkatan takaran fosfat alam Maroko, Christmas, Ciamis dan SP-36 sampai takaran 75% umumnya meningkatkan proporsi P_i fraksi tidak labil. Peningkatan takaran

pupuk P akan menambah sumber P_i termasuk P_i fraksi tidak labil pada tanah gambut. Peningkatan takaran sampai 100% menurunkan P_i fraksi tidak labil ekstrak 0,5 M NaOH pada perlakuan Maroko, Ciamis dan SP-36. Hal ini disebabkan karena ketiga pupuk tersebut mempunyai kelarutan lebih tinggi dari Christmas, disamping itu diduga adanya ekstraksi P_i yang intensif selama fraksionasi dengan pengekstrak HCl sebelumnya.

Fosfat alam Christmas memberikan peningkatan proporsi P_i tidak labil yang lebih tinggi dan sebaliknya memberikan P_i mudah labil yang lebih rendah dibandingkan Maroko dan Ciamis. Hal ini disebabkan kelarutannya yang lebih rendah dibandingkan fosfat alam Maroko dan Ciamis. Fosfat alam Christmas kurang larut karena kelarutan dalam asam sitrat 2% (Tabel 4) dan reaktivitas kimia lebih rendah yang dicerminkan substitusi PO_4^{3-} oleh CO_3^{2-} yang lebih rendah dan sumbu a yang lebih panjang (Chien dan Van Kauwenberg, 1992). Sedangkan fosfat alam Maroko merupakan karbonat fluorapatit (francolit) dari batuan sedimen yang mempunyai substitusi CO_3^{2-} yang lebih tinggi dari fosfat alam Ciamis dan Christmas. Kelarutan fosfat alam meningkat sejalan dengan meningkatnya substitusi PO_4^{3-} oleh CO_3^{2-} dalam struktur francolit (Lehr dan McClellan, 1972).

Pemupukan fosfat alam Maroko, Ciamis dan SP-36 takaran 100% erapan P meningkatkan P_i mudah labil yang merupakan P tersedia bagi pertumbuhan tanaman, sedangkan fosfat alam Christmas memberikan P_i tidak labil lebih tinggi, hal ini berkaitan erat dengan kelarutannya yang lebih rendah, sehingga ketersediaan P bagi tanaman juga lebih rendah.

P organik

Proporsi fraksi-fraksi P organik meliputi P_o mudah labil ($P_o-NaHCO_3$) merupakan P_o yang terikat lemah, P_o agak labil (P_o-HCl dan P_o -asam fulvik) merupakan P_o yang terkhelat, dan P_o tidak labil (P_o -asam humik dan residu) merupakan P_o yang terikat kuat, dan lebih resisten terhadap dekomposisi.

Tabel 6. Komposisi P Organik dengan beberapa fraksi yang berbeda stabilitas*Table 6. Composition of organic P among fraction of varying stability*

Perlakuan	Total Po %	Po mudah labil	Po agak labil		Jumlah Po agak labil	Po tidak labil		Jumlah Po tidak labil
		NaHCO ₃	HCl	Fulvik		Humik	Residu	
		% Total P tanah						
Kontrol - TM	88,12	15,06	13,72	18,70	32,42	16,63	6,03	22,66
Kontrol	89,99	12,33	14,74	16,58	31,32	15,80	7,23	23,03
Maroko 25%	89,71	15,21	17,43	7,52	24,95	23,60	6,86	30,46
Maroko 50%	87,08	13,39	14,62	16,85	31,47	21,25	6,09	27,34
Maroko 75%	81,73	13,32	14,01	10,52	24,53	18,80	5,37	24,17
Maroko 100%	77,21	11,37	13,96	15,35	29,31	14,45	6,31	20,76
Christmas 25%	83,13	13,35	15,84	13,91	29,75	18,17	6,55	24,72
Christmas 50%	80,82	12,73	15,04	12,64	27,68	16,85	6,64	23,49
Christmas 75%	90,32	19,93	17,55	13,17	30,72	26,10	3,99	30,09
Christmas 100%	89,77	17,77	19,70	10,39	30,09	28,14	5,22	33,36
Ciamis 25%	86,67	18,60	21,50	9,04	30,54	21,92	4,14	26,06
Ciamis 50%	86,27	21,81	24,06	11,80	35,86	17,04	3,78	20,82
Ciamis 75%	79,45	16,49	18,06	8,50	26,56	22,28	3,09	25,37
Ciamis 100%	79,37	15,61	18,06	10,44	28,50	19,65	4,57	24,22
SP-36 25%	85,52	17,75	20,23	13,81	34,04	18,94	2,59	21,53
SP-36 50%	83,07	18,64	20,83	9,86	30,69	17,65	5,09	22,74
SP-36 75%	81,10	17,98	19,41	10,69	30,10	17,72	5,39	23,11
SP-36 100%	78,13	15,89	17,78	15,10	32,88	14,39	5,29	19,68

Pemberian beberapa jenis fosfat alam atau SP-36 pada tanah gambut yang diberi bahan amelioran tanah mineral terhadap proporsi P organik dengan beberapa fraksi yang berbeda stabilitasnya disajikan pada Tabel 6. Perlakuan pemberian bahan amelioran dan fosfat alam Maroko, Christmas, Ciamis dan SP-36 memberikan Po total berturut-turut berkisar 77,20 – 89,71; 79,77 – 83,13; 79,37 – 86,67 dan 78,12 – 85,51%. Peningkatan takaran pupuk fosfat alam Maroko, Ciamis dan SP-36 cenderung menurunkan Po total dan sebaliknya untuk Christmas. Hal ini dapat difahami karena sumber pupuk P tersebut mempunyai kelarutan yang lebih tinggi dari Christmas, dimana sebagian P digunakan mikroba sebagai hara atau energi untuk aktivitasnya antara lain mendekomposisi gambut, sehingga proses mineralisasi P sedikit lebih tinggi (Stevenson, 1994).

P organik total berkisar 77 sampai 90% dan sisanya merupakan total P inorganik dalam jumlah yang lebih kecil 10 sampai 23%. Hasil ini sejalan dengan penelitian Ivanoff *et al.* (1998) yang mendapatkan fraksi P organik total sebesar 74%.

Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar P dalam tanah gambut merupakan fraksi P organik dan sebagian kecil P inorganik yang lebih tersedia bagi tanaman. Fenomena ini menunjukkan bahwa pada tanah gambut memerlukan pemupukan P, yang diberikan secara bertahap, karena gambut mengikat anion dan kation yang lemah.

Proporsi fraksi Po mudah labil ekstrak NaHCO₃ lebih rendah dibandingkan fraksi Po agak labil dan tidak labil. Fraksi Po mudah labil ekstrak NaHCO₃ pada perlakuan pemberian fosfat alam Maroko, Christmas, Ciamis dan SP-36 berturut-turut berkisar 11,37 – 15,21; 12,73 – 19,93; 15,61 – 21,81; dan 15,89 – 18,64%. Peningkatan takaran fosfat alam umumnya tidak meningkatkan proporsi fraksi Po mudah labil, kecuali pada fosfat alam Christmas.

Proporsi P organik fraksi agak labil (Po-HCl + Po-asam fulvik) pada perlakuan pemberian fosfat alam Maroko, Christmas, Ciamis dan SP-36 berturut-turut berkisar 24,53 – 31,47; 27,68 – 30,72; 26,56 – 35,86; 30,10 – 34,04%. Peningkatan takaran fosfat alam dan SP-36 umumnya juga tidak meningkatkan proporsi fraksi

Po agak labil. Fraksi Po mudah labil dan agak labil diharapkan secara tidak langsung memberikan kontribusi dalam penyediaan P bagi tanaman. Namun fraksi ini juga ditentukan oleh adanya proses mineralisasi P, kecuali P organik dalam bentuk asam nukleat dan fitin yang dapat diserap tanaman (Tisdale *et al.*, 1985).

Fosfor organik fraksi tidak labil (Po-asam humik + P residu yang sangat resisten) perlakuan pemberian fosfat alam Maroko, Christmas, Ciamis dan SP-36 umumnya memberikan proporsi Po fraksi tidak labil lebih tinggi dibandingkan kontrol berturut-turut berkisar 20,76 - 30,46; 23,49 - 33,36; 20,82 - 26,06; 19,68 - 23,11%. Peningkatan takaran fosfat alam Christmas meningkatkan proporsi Po fraksi tidak labil, sedangkan pada fosfat alam Maroko, Ciamis dan SP-36 umumnya tidak terjadi peningkatan. Fenomena ini menunjukkan bahwa fosfat alam Christmas memberikan Po fraksi tidak labil lebih besar dari Maroko dan Ciamis, hal ini disebabkan kelarutannya yang rendah. Adanya beberapa fluktuasi data fraksi Po, diduga karena hidrolisis beberapa senyawa P organik oleh pengekstrak HCl 1 M atau NaOH 0,5 M, dan erapan P labil (Ivanoff *et al.*, 1998).

Urutan proporsi fraksi P organik secara umum yaitu Po agak labil \approx Po tidak labil $>$ Po mudah labil. Hasil ini sedikit berbeda dengan Ivanoff *et al.* (1998) yang mengemukakan bahwa fraksi terbesar pada fraksi Po adalah fraksi tidak labil (asam humik dan residu) yaitu 21-41%. Diduga hal ini disebabkan bahan gambut yang digunakan mempunyai tingkat dekomposisi hemik, belum mengalami humifikasi lanjut, sehingga fraksi agak labil lebih tinggi. Komposisi fraksi-fraksi Po pada tanah gambut tergantung kepada jenis vegetasi penyusun gambut dan tingkat dekomposisi gambut.

Sumber pupuk P tidak menunjukkan pengaruh yang berarti terhadap proporsi fraksi P organik. Hal ini disebabkan gambut Air Sugihan Kiri mempunyai nisbah C dan P sangat tinggi yaitu berkisar 766 - 1102, sehingga proses immobilisasi P lebih dominan

dibandingkan mineralisasi P. Proses mineralisasi P pada tanah gambut berjalan lambat, karena selang nisbah C dan P sangat lebar (Miller dan Donahue, 1990).

Tidak berbeda nyata komposisi fraksi-fraksi Po akibat perlakuan, disebabkan bahan tanah gambut yang digunakan mempunyai nisbah C dan P yang sangat tinggi, sehingga proses immobilisasi P lebih dominan. Fraksi-fraksi Po merupakan bagian integral dari suatu sistem dimana populasi mikroba memegang peranan utama dan *bioavailability* dari P tanah (Hedley and Stewart, 1982). Oleh karena itu dinamika fraksi-fraksi Po nyata terlihat apabila menggunakan gambut eutropik dengan nisbah C dan P yang rendah.

Hubungan antara fraksi-fraksi P inorganik dan P organik

Untuk melihat hubungan antara fraksi-fraksi Pi dan Po dilakukan suatu analisis korelasi yang hasilnya dirangkum pada Tabel 7 dan 8. Fosfor larutan nyata berkorelasi positif dengan Pi mudah labil dan Pi tidak labil ekstrak HCl. Korelasi positif menyatakan bahwa peningkatan Pi mudah labil akan meningkatkan P larutan, demikian pula dengan fraksi-fraksi Pi yang lainnya dan berlaku sebaliknya.

Di antara fraksi P inorganik yaitu fraksi Pi mudah labil dan Pi tidak labil ekstrak 1 M HCl, menunjukkan korelasi positif yang nyata dengan P larutan, tetapi berkorelasi negatif dengan Pi tidak labil (ekstrak 0,5 M NaOH). Jumlah dan proporsi P larutan, tergantung pada Pi mudah labil dan tidak labil. Pi mudah labil merupakan P yang terikat lemah dan dapat ditukarkan, sehingga merupakan sumber bagi P yang terlarut. Sedangkan Pi tidak labil merupakan P yang terkhepat oleh senyawa organik dengan kation Fe sebagai jembatan kation. Stabilitas kation - organik - P ditentukan oleh pH, karakteristik dan konsentrasi kation, jumlah atom ligan yang membentuk ikatan dengan kation serta jumlah dan bentuk struktur cincin yang dihasilkan (Stevenson, 1994).

Tabel 7. Koefisien korelasi (r) antara fraksi-fraksi P inorganik

Table 7. Correlation coefficients between P inorganic fractions

Fraksi P Inorganik	Pi mudah labil 0,5 M NaHCO ₃	Pi tidak labil		Pi total
		1 M HCl	0,5 M NaOH	
P Larutan	0,365**	0,548*	-0,339**	0,158
Pi Mudah Labil	-	0,462**	-0,236*	0,662**
Pi tidak labil	1M HCl	-	-0,370**	0,345**
	0,5 M NaOH		-	0,524*

Keterangan : Nilai signifikan r pada p= 0,05 dan 0,01 (db = 70) masing-masing 0,232 dan 0,302

Peningkatan fraksi Pi mudah dan tidak labil (ekstrak 1 M HCl) akan meningkatkan konsentrasi P larutan. P larutan lebih bergantung pada kedua fraksi P mudah labil dan tidak labil (ekstrak 1 M HCl) dari P inorganik. Fenomena ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang erat diantara fraksi P larutan, P mudah labil dan P tidak labil dari P inorganik berupa keseimbangan yang dipengaruhi oleh pH (McLaren and Crawford, 1973). Bilamana pH menurun, maka keseimbangan akan bergeser ke kiri yang dapat digambarkan sebagai berikut :

Pi larutan ⇌ Pi mudah labil (Pi dapat ditukar) ⇌ Pi tidak labil (Pi terkhelet)

Fraksi Pi mudah labil merupakan fraksi yang lebih lemah ikatannya, terjerap pada permukaan eksternal sehingga mudah bergeser keseimbangannya ke arah peningkatan konsentrasi P ke dalam larutan tanah.

P larutan menunjukkan korelasi positif dengan Po agak labil ekstrak HCl 1 M, tetapi berkorelasi negatif dengan fraksi Po-asam fulvik. Hal ini menunjukkan bahwa P larutan lebih dipengaruhi oleh fraksi Pi dan secara tidak langsung dipengaruhi oleh Po agak labil.

P organik total berkorelasi positif nyata dengan Po tidak labil (Po-asam humik). Ini berarti peningkatan Po tidak labil (Po-asam humik) akan sejalan dengan peningkatan Po total. Fenomena ini berhubungan erat dengan tingkat mineralisasi P dari bahan tanah gambut, dimana bila tingkat mineralisasi P lambat, fraksi Po-asam humik merupakan fraksi yang lebih dominan dari P organik.

Di antara fraksi Po mudah labil, agak labil dan tidak labil terdapat korelasi yang nyata. Fraksi Po mudah labil mempunyai korelasi positif yang nyata dengan Po agak labil ekstrak 1 M HCl, tetapi mempunyai korelasi negatif nyata dengan fraksi Po-asam fulvik. Ini berarti peningkatan fraksi Po agak labil ekstrak 1 M HCl akan meningkatkan fraksi Po mudah labil, tetapi menurunkan Po dalam fraksi asam fulvik.

Sedangkan fraksi Po agak labil mempunyai korelasi negatif yang nyata dengan fraksi Po tidak labil yaitu Po dari fraksi asam humik dan residu. Peningkatan fraksi Po agak labil akan menurunkan fraksi Po tidak labil. Jumlah fraksi Po mudah labil lebih dipengaruhi oleh fraksi asam fulvik yang lebih mudah dimineralisasi, sedangkan fraksi Po agak labil dipengaruhi oleh fraksi Po tidak labil dari fraksi asam humik dan residu yang merupakan fraksi yang lebih

Tabel 8. Koefisien korelasi (r) antara fraksi-fraksi P organik

Table 8. Correlation coefficients between P organic fractions

Fraksi P organik	Po mudah labil	Po agak labil		Po tidak labil		Po total
		HCl	Fulvik	Humik	Residu	
P Larutan	-0,150	0,238*	-0,426**	-0,147	0,138	-0,158
Po mudah labil	-	0,888**	-0,271*	0,207	0,011	0,021
Po agak labil	HCl	-	-0,373**	-0,295*	0,158	-0,113
	Fulvik	-	-	-0,556**	-0,340**	-0,166
Po tidak labil	Humik	-	-	-	-0,024	0,465**
	Residu	-	-	-	-	0,230

Keterangan : Nilai signifikan r pada p= 0,05 dan 0,01 (db = 70) masing-masing 0,232 dan 0,302.

resisten. Fraksi Po tidak labil merupakan fraksi Po yang terikat kuat, relatif resisten terhadap proses-proses yang mempengaruhinya dan bukan merupakan fraksi atau sumber yang segera bagi Po mudah labil. Keseimbangan ini dipengaruhi oleh mineralisasi P organik dari bahan tanah gambut (Miller dan Donahue, 1990). Mineralisasi P organik oleh mikroba dipengaruhi oleh nisbah C dan P.

Po mudah labil ⇔ Po agak labil ⇔ Po tidak labil

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Bahan tanah gambut dari Air Sugihan Kiri merupakan gambut miskin oligotropik, bereaksi masam, dengan kadar K dapat ditukar dan kadar abu yang rendah.
2. Fosfor tanah gambut sebagian besar dalam bentuk P organik berkisar 77 sampai 90% dan sisanya fraksi P inorganik dalam jumlah lebih kecil berkisar 10 sampai 23%.
3. Komposisi fraksi P organik menunjukkan bahwa proporsi fraksi tidak labil relatif sama dengan fraksi agak labil dan fraksi P organik mudah labil merupakan fraksi terendah. Sumber dan takaran fosfat alam tidak menunjukkan pengaruh terhadap proporsi fraksi P organik.
4. Pemberian fosfat alam Maroko dan Ciamis takaran 100% erapan P meningkatkan P tersedia (P inorganik mudah labil). Fosfat alam Christmas memberikan P inorganik tidak labil lebih tinggi dari fosfat alam Maroko dan Ciamis.

Saran

Perlu dilakukan penelitian komposisi fraksi-fraksi P pada tanah gambut dengan tingkat kesuburan dan tingkat dekomposisi yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Alloway, B.J. 1990.** Heavy Metals in Soil. Blackie Academic and Professional. London.
- Anderson, G. 1967.** Nucleic acids, derivatives and organic Phosphates. pp. 67-90. *In*. A.D. McLaren and G. H. Petersen (*Eds.*). Soil Biochemistry Marcel Dekker, New York.
- Andriessse, J.P. 1974.** Tropical peats in South East Asia. Dept. of Agric. Res of the Royal Trop. Inst. Comm. 63. Amsterdam. 63p.
- Astiana, 1977.** Ketersediaan Fosfor pada Tanah Organik Delta Upang sebagai Dasar Saran Pemupukan Fosfor terhadap Tanaman Padi Pelita 1/1. Thesis Departemen Ilmu-ilmu Tanah, Fakultas Pertanian – IPB.
- Bowman, R.A. 1989.** A Sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and dilute base for soil organic phosphorus. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 362 – 366.
- Chien, S.H. and S.J. Van Kauwenberg. 1992.** Chemical and mineralogical characteristic of phosphate rocks for direct application. First National Seminar on phosphate Rock in Agriculture. Serie Carilance No.29, Institute de Investigaciones Agropecuarias, Temueo, Chile. pp 3 – 31.
- Cross, A.F. and W.H. Schlesinger, 1995.** A literature review of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. Geoderma. 64:197 - 214.
- Halstead, R.L. and R.B. McKercher. 1975.** Biochemistry and cycling of phosphorus. *In* E.A. Paul and A.D. McLaren (*Eds.*) Marcel Dekker, New York, pp 31-63. Soil Biochemistry.
- Hedley, M.J., and J.W.B. Stewart. 1982.** A method to measure microbial phosphate in soils. Soil Biol. Biochem. 14:377-385.
- Institut Pertanian Bogor. 1976.** Laporan survai dan pemetaan tanah daerah pasang surut Air Sugihan Kiri. Proyek Pembukaan Persawahan Pasang Surut. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.

- , 1983. Kriteria Penilaian Kandungan Unsur dan Kemasaman Tanah Daerah Pasang Surut. IPB. Bogor.
- Ivanoff, D.B., K.R. Reddy, and S. Robinson. 1998.** Chemical fractionation of organic phosphorus in selected Histosols. *J. Soil Sci.* 163 (1):36 – 45.
- Khasawneh, F.E. and E.C. Doll. 1978.** The use of rock phosphate for direct application to soils. *Adv. In Agron.* 30:159-206.
- Laegreid, M., O.C. Bockman, and O. Kaarstad. 1999.** Agriculture, Fertilizers and the Environment. CABI Publishing, Norsk Hydro ASA.
- Lehr, J.R. and G.H. McClellan. 1972.** A Revised Laboratory Reactivity Scale for Evaluating Phosphate Rock for Direct Application. *Bull.* 4 – 43. TVA. Alabama. U.S.A.
- Mattingly, G.E.G.** 1985. Labile phosphate in soils. *In* :Y.K soon (ed). *Soil Nutrient Availability.* Van Nostrand Reinholdco. New York.
- McClellan, G.H. 1978.** Mineralogy and reactivity of phosphate rock. Seminar on Phosphate Rock for Direct Application. Haifa, Israel, March 20 – 23.p 57 – 81.
- McLaren, R.G. and D.V. Crawford. 1973.** Studies on soil copper: I. The Fractionation of copper in soils. *J. Soil Sci.* 24 (2):172 – 181.
- Miller, R.W. and R.L. Donahue. 1990.** Soils. An Introduction to Soils and Plant Growth. Prentice Hall Englewood Cliffs. New Jersey. 768p.
- 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.*
- Prasetyo, T.B.** 1996. Perilaku Asam-asam Organik Meracun pada Tanah Gambut yang Diberi Garam Na dan Beberapa Unsur Mikro dalam Kaitannya dengan Hasil Padi. Disertasi Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Pusat Penelitian Tanah. 1998.** Kriteria Penilaian Angka-angka Hasil Analisis. PPT. Bogor.
- Rachim, A. 1995.** Penggunaan Kation-kation Polivalen dalam Kaitannya Dengan Keterse-
- diaan Fosfat untuk Meningkatkan Produksi Jagung pada Tanah Gambut. Disertasi. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Rajan, S.S.S., J.H. Watkinson, and A.G. Sinclair. 1996.** Phosphate rock for direct application to soils. *Adv. In Agron.* 57:77-159.
- 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. Thesis. Program Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sediyarso, M. 1999.** Fosfat Alam sebagai Bahan Baku dan Pupuk Fosfat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Setyorini, D., Soeparto, dan Sulaeman. 2002.** Kadar logam berat dalam pupuk. Seminar Nasional Peningkatan Kualitas Lingkungan dan Produk Pertanian. Kudus, 4 November.
- Stevenson, F.J. 1994.** Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Stewart, J.W.B. and H. Tiessen. 1987.** Dynamics of soil organic phosphorus. *Biogeochemistry* 4:41-60.
- Tadano, 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.
- Tisdale, S.L., W.L. Nelson, and J.D. Beaton. 1985.** Soil Fertility and Fertilizers. 4th ed. The Macmillan Publ. Co. New York. 694p.
- Tsutsuki, K. 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.

