

Perubahan Fraksi P-Inorganik dan P-Organik Pada Bahan Tanah Gambut Yang Diaplikasi Dengan Fosfat Alam Pada Kondisi Kapasitas Lapang dan Tergenang

The Change of Inorganic-P and Organic-P Fraction Forms in Peat Soil Materials That Applied With Rock Phosphate in Saturated and Field Capacity Conditions

Nelvia^{1*}, Supiandi Sabiham² dan Iswandi Anas²

¹Staf Pengajar Fakultas Pertanian, Universitas Riau

²Staf Pengajar Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor

ABSTRACT

The very high acidity of peat soil is mainly caused by high H^+ concentration that can change the base cation like K^+ , Na^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} from mineral/rock structure. The research was conducted in laboratory of the Departement of Soil Science, Faculty of Agriculture, IPB. Peat soils at hemic degree of decomposition level were taken from Riau. Rock phosphates in this research (P and Fe sources) were the rock phosphates of Huinan China, Christmas Island and PT Petrokimia Gresik the content 32,65; 31,28 and 25,02% of P_2O_5 and 2,28; 11,19 and 18,72% of R_2O_3 ($Fe_2O_3 + Al_2O_3$) respectively. The aims of the research were to study the changes of the forms of readily labile inorganic-P and organic-P, moderately labile inorganic-P and organic-P and non labile organic-P in peats after being incubated with rock phosphates. The results showed that the application of rock phosphates in peat soil increased the readily of labile inorganic-P and organic-P, moderately inorganic-P and organic-P, and non labile P forms. An increase of non labile P and moderately labile P were higher due to the R_2O_3 content of rock phosphates became higher in saturated and field capacity condition. The results also showed that the rock phosphates applied to the peat soil released P in a very high amounts, in the order of rock phosphates of Huinan China > Christmas Island > PT Petrokimia Gresik. Released P was determined by water extraction which increased with the periods of incubation with the similar pattern on the three types of rock phosphates.

Keywords: peat soil, P fraction forms, rock phosphate

ABSTRAK

Tingginya kemasaman tanah gambut terutama disebabkan oleh konsentrasi ion H^+ tinggi. Ion H^+ berperan menggantikan kedudukan kation seperti K^+ , Na^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} dalam struktur mineral/batuan. Penelitian dilakukan di Laboratorium Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, IPB. Tanah gambut diambil dari Riau, pada tingkat kematangan hemik. Fosfat alam sebagai sumber P dan Fe yang digunakan adalah berasal dari Huinan China, *Christmas Island* dan PT Petrokimia Gresik, secara berturut-turut mengandung 32,65; 31,28 and 25,02% P_2O_5 dan 2,28; 11,19 dan 18,72% R_2O_3 ($Fe_2O_3 + Al_2O_3$). Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari perubahan bentuk-bentuk fraksi P mudah labil, agak labil dan tidak labil pada tanah gambut setelah diinkubasi dengan pemberian fosfat alam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian fosfat alam pada tanah gambut meningkatkan P mudah labil, agak labil dan tidak labil. Peningkatan P tidak labil dan agak labil semakin tinggi dengan semakin tingginya kandungan Fe dalam fosfat alam. Hasil juga menunjukkan bahwa fosfat alam yang ditambahkan ke tanah gambut yang kehilangan P dalam jumlah tinggi, meningkat dengan urutan fosfat alam dari Huinan Cina > *Christmas Island* > PT Petrokimia Gresik. Kehilangan P ditentukan oleh peningkatan ekstraksi air dan waktu inkubasi dengan pola tiga jenis fosfat alam serupa.

Kata kunci: tanah gambut, bentuk fraksi p, batuan fosfat

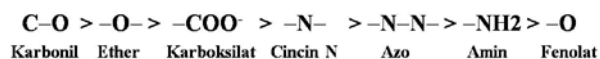
* Penulis untuk korespondensi. email: nnelvia@yahoo.co.id

PENDAHULUAN

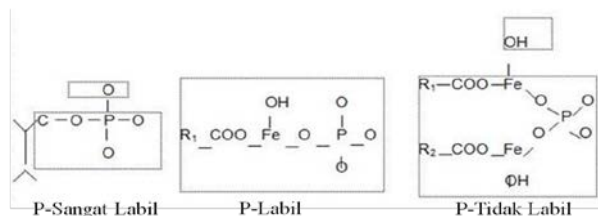
Rendahnya kesuburan tanah gambut dicirikan oleh reaksi tanah masam hingga sangat masam, ketersediaan hara makro (N, P, K, Ca dan Mg) rendah dan kahat unsur mikro (Cu, Zn, Mn, Fe, B dan Mo), kapasitas tukar kation (KTK) sangat tinggi tetapi kejenuhan basa (KB) rendah. Ketersediaan Cu adalah terendah dibandingkan unsur mikro lain karena Cu terikat pada tapak reaktif senyawa organik seperti karboksil (-COOH) dan fenol (-OH) membentuk kompleks-organo kation Cu (kelat) sehingga tidak tersedia bagi tanaman (Hardjowigeno, 1996; Sagiman, 2007; Tim Sintesis Kebijakan, 2008; Simbolon, 2009).

Asam-asam organik seperti asam humat, asam fulvat dan asam-asam organik lainnya hasil dekomposisi bahan organik selama proses tanah gambut sangat tinggi, memiliki gugus reaktif karboksil (-COOH) dan fenolik (-OH) bersifat asam lemah mudah terdisosiasi menghasilkan ion H^+ dalam jumlah banyak (Andriesse, 1974; Herviyanti, *et al.*, 2006; Setyowati dan Ulfin, 2007). Asam organik sederhana maupun kompleks seperti asam humat dan fulvat efektif melarutkan mineral. Pelarutan mineral oleh asam-asam organik tersebut melalui reaksi hidrolisis, asidolisis dan kompleksolisis. Pelarutan mineral oleh asam organik sederhana lebih diakibatkan oleh peran ion H^+ melalui reaksi hidrolisis (Ismangil dan Hanudin, 2005). Reaksi pelarutan mineral fosfat sebagai berikut: $Ca_{10}(PO_4)_6F + 12H^+ \rightarrow 10Ca^{++} + 6H_2PO_4 + 2F^-$ (Boland dan Hedley, 1989).

Pelarutan mineral oleh asam organik kompleks melalui pembentukan kelat pada tapak-tapak reaktifnya. Asam organik yang berkapasitas pengkelat kuat lebih efektif dalam pelarutan mineral dari pada yang lemah. Asam humat, asam fulvat kaya dengan gugus-gugus fungsi berbeda akan berbeda afinitasnya mengikat kation, umumnya meningkat pada tapak reaktif dengan deret berikut :



Di antara gugus tersebut, maka gugus fungsi yang mengandung oksigen seperti C-O, -OH dan COOH merupakan tapak yang paling reaktif dalam mengikat kation membentuk kelat (Stevenson, 1994). Menurut Tan (2003) kompleks antara asam humik dengan kation logam berbeda mempunyai kestabilan yang berbeda, urutan kestabilan kompleks antara asam humik-logam semakin lemah menurut urutan $Al^{3+} > Fe^{3+} > Cu^{2+} > Mn^{2+} > Zn^{2+} > Mg^{2+} > Ca^{2+}$. Kelat yang terbentuk berfungsi mengkonservasi ion fosfat dalam tanah gambut, karena dapat berikatan dengan senyawa organik melalui jembatan kation. Penggunaan kation polivalen seperti Fe, Al dan Ca pada bahan organik/tanah gambut dapat mengurangi pelindian ion fosfat (Appelt *et al.*, 1975; Mattingly, 1985).



Kompleks hidroksi-Al-humat juga mampu menerapkan P dan ditemukan bahwa erapan terhadap unsur P meningkat bila nisbah Al:OH menurun (Appelt, *et al.*, 1975), hal ini berarti bahwa pertukaran P terjadi pada tapak erapan yang diduduki oleh gugus OH pada Al. Kompleks Al-organik-fosfat merupakan suatu rangkaian yang stabil (Sinha, 1971). Peningkatan kandungan Fe dan Al dalam gambut meningkatkan kapasitas fiksasi fosfat (Suryanto, 1993).

Hartatik dan Idris (2008) melaporkan bahwa kelarutan fosfat alam dalam gambut menunjukkan bahwa FA Maroko lebih tinggi dari FA Ciamis dan kelarutan terendah FA Christmas dengan urutan $SP-36 > FA Maroko > FA Ciamis > FA Christmas$. Suryanto (1991) melaporkan bahwa TSP, fosfat alam (FA) batuan sedimen dan FA batuan beku/apatit dalam tanah gambut dapat melepaskan P cukup tinggi, dengan urutan: $TSP > FA batuan sedimen > FA batuan beku$. Pemberian TSP, FA batuan sedimen dan FA batuan beku pada gambut sebesar $7.857 \mu g P$ per 25 g gambut, dengan ekstrak air dilepaskan berturut-turut 6.218 ; 6.011 dan $4.362 \mu g P$ per 25 g gambut atau 79%; 77% dan 56% P. Pelepasan P semakin meningkat dengan semakin lama masa inkubasi, P yang lepas setelah diinkubasi selama 1, 2, 4, dan 8 minggu berturut-turut sebesar 66,97%; 69,97%; 70,37%; dan 74,73% P.

Telah dilakukan penelitian untuk mempelajari perubahan proporsi fraksi P-inorganik dan P-organik pada bahan tanah gambut yang diberi fosfat alam.

BAHAN DAN METODE

Contoh tanah gambut yang diambil dari lokasi transmigrasi lokal di Desa Pekan Tua, Kecamatan Tempuling, Kabupaten Indragiri Hilir, Provinsi Riau dengan tingkat dekomposisi hemik. Fosfat alam (FA) yang digunakan yaitu fosfat alam dari Huinan China, *Christmas Island* dan PT Petrokimia Gresik. Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah Departemen Tanah, Fakultas Pertanian IPB, Kampus IPB Darmaga.

Analisis pendahuluan terhadap sifat-sifat kimia bahan tanah gambut sebelum percobaan, meliputi analisis: pH (pH meter), KB (Σ Basa-basa/KTK), KTK (ekstraksi 1 N NH_4OAc pH 7,0; Black, 1965), C-organik (Walkley dan Black; Black, 1965), N total (Kjeldahl; Black, 1965), rasio C/N, P_2O_5 tersedia (ekstraksi Bray I; Black, 1965), P_2O_5 total (ekstraksi HCl 25%; Black, 1965), basa (K, Ca, Mg dan Na) dapat dipertukarkan (ekstraksi 1 N NH_4OAc pH 7,0; Black, 1965), hara mikro (Fe, Cu, Zn dan Mn) tersedia (ekstraksi 0,05 N HCl; Black, 1965), dan kadar abu (Gravimetri; Blackmore *et*

al., 1987). Sedangkan analisis sifat kimia fosfat alam meliputi: kadar hara P, Ca dan Mg total serta kation polivalen Mn, Zn, Cu, Fe dan Al total (ekstraksi $\text{HClO}_4 + \text{HNO}_3$ pekat; Page et al., 1982).

Pelaksanaan Percobaan

1. Penetapan Perubahan Fraksi P-Inorganik dan P-Organik Dalam Bahan Tanah Gambut yang Diberi Fosfat Alam

Bahan tanah gambut sebanyak 25 g setara bobot kering oven 105°C dimasukkan ke dalam pot plastik, kemudian tambahkan fosfat alam Huinan China, *Christmas Island* dan PT Petrokimia Gresik masing-masing: 0, 25, 50 dan 75% erapan maksimum P. Setiap perlakuan diulang 2 kali sehingga diperoleh 24 satuan percobaan. Seluruh satuan percobaan diinkubasi selama satu bulan dalam keadaan jenuh dan kapasitas lapang. Penetapan kurva erapan P dengan metode Fox dan Kamprath yang dimodifikasi oleh Widjaja-Adhi, et al. (1990) dan penetapan bentuk-bentuk fraksi P dengan ekstraksi bertahap (*sequential extraction*) menurut metode yang digunakan (Ivanoff, et al., 1998).

Prosedur fraksionasi P (Ivanoff, et al., 1998), timbang 2 x 1 g bahan tanah gambut yang telah diinkubasi dengan masing-masing fosfat alam setara berat kering oven 105°C dan masing-masing dimasukkan ke dalam tabung sentrifugasi 100 ml. Ke dalam salah satu tabung ditambahkan 2 ml CHCl_3 dan tutup kedua tabung dengan kertas tisu, serta diletakkan di ruang asam selama 24 jam. Ke dalam masing-masing tabung sentrifugasi ditambahkan 50 ml NaHCO_3 0,5 M dan dikocok selama 16 jam. Suspensi disentrifugasi, larutan supernatan dipisahkan ke dalam tabung kimia dan residu tanah disimpan (residu 1). Supernatan langsung digunakan dalam penetapan P-inorganik (Pi) dengan metode biru molibdat (seperti P-Olsen). Kadar P ($\mu\text{g g}^{-1}$ tanah) = kadar P dalam ekstrak ($\mu\text{g ml}^{-1}$) x 50 x fka. Untuk P total (TP) 1 ml supernatan didiges terlebih dahulu dengan 0,5 g ammonium persulfat dan 1 ml H_2SO_4 5,5 M pada suhu 150°C selama 20-30 menit (Bowman, 1989) sebelum P ditetapkan dengan metode biru molibdat (seperti P Bray). Selisih kadar total P (TP) dari duplikat tanah adalah P organik (Po) biomas, sedangkan selisih total P (TP) dengan P-inorganik (Pi) adalah P-organik (Po).

Residu 1 dalam tabung sentrifugasi diekstrak lagi dengan 50 ml larutan HCl 1 M dan dikocok selama 3 jam. Suspensi disentrifugasi, larutan supernatan dipisahkan ke dalam tabung kimia dan residu tanah disimpan (residu 2). Supernatan digunakan untuk penetapan Pa dengan metode biru molibdat (seperti P-Bray). Kadar P ($\mu\text{g g}^{-1}$ tanah) = kadar P dalam ekstrak ($\mu\text{g ml}^{-1}$) x 50 x fka. Untuk P total (TP) 1 ml supernatan didiges terlebih dahulu dengan 0,5 g ammonium persulfat dan 1 ml H_2SO_4 5,5 M pada suhu 150°C selama 20-30 menit (Bowman, 1989) sebelum P ditetapkan dengan metode biru molibdat (seperti P-Bray). Selisih kadar total P (TP) dengan P-inorganik (Pi) adalah P-organik agak labil (*moderately labile*), sedangkan P-inorganik disini merupakan bagian dari P-inorganik yang pertama sehingga perlu dijumlahkan.

Residu 2 dalam tabung sentrifugasi diekstrak dengan 50 ml air bebas ion dan dikocok selama 5 menit, setelah itu disentrifugasi. Larutan supernatan ini dibuang dan residu disimpan (residu 3). Residu 3 diekstrak dengan 50 ml NaOH 0,5 M dan dikocok selama 16 jam. Ekstrak disentrifugasi, residu 4 disimpan, sedangkan supernatan digunakan untuk penetapan TPc setelah didiges terlebih dahulu dengan 0,5 g Ammonium Persulfat dan 1 ml H_2SO_4 5,5 M pada suhu 150°C selama 20-30 menit (Bowman, 1989). Kemudian ekstrak diasamkan hingga pH 2 dengan HCl pekat. Setelah disentrifugasi, supernatan (FA-Po *moderately labile*) digunakan langsung untuk penetapan Pi dan setelah didiges terlebih dahulu dengan 0,5 g Ammonium Persulfat dan 1 ml H_2SO_4 5,5 M pada suhu 150°C selama 20-30 menit (Bowman, 1989) untuk TPd. Kadar Po-FA (P-organik *moderately*) dihitung dari TPd dikurangi Pinya, sedangkan kadar Po-HA (Po-non *Labile*) dihitung dari TPc dikurangi Po-FA.

Residu 4 dibilas dengan cara ekstraksi menggunakan 50 ml air bebas ion yang dikocok selama 5 menit. Setelah disentrifugasi, supernatan dibuang. Residu yang telah dibilas diabukan pada suhu 550°C selama 1 jam, larutkan dalam H_2SO_4 1 M dengan mengocoknya selama 24 jam. Kadar P (P-organik tidak labil yang sangat resisten) ditetapkan dari ekstrak ini.

2. Kelarutan Beberapa Jenis Fosfat Alam Dalam Bahan Tanah Gambut

Bahan tanah gambut sebanyak 100 g setara dengan berat kering oven 105°C dimasukkan ke pot plastik. Kemudian ditambahkan 11 taraf P dari setiap jenis fosfat alam sebagai sumber P yaitu fosfat alam dari Huinan China, *Christmas Island* dan PT Petrokimia Gresik. Takaran P untuk masing-masing adalah: 0, 100, 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400 dan 1600 $\mu\text{g g}^{-1}$. Kemudian digenangi dengan aquades setinggi 5 cm. Setiap perlakuan diulang dua kali. Untuk mendapatkan P-tersebut seluruh satuan percobaan diinkubasi selama 12 minggu. Kemudian dilakukan pengukuran P-larut air pada minggu ke 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10 dan 12. Penetapan P-larut air dilakukan dengan penetapan fosfat cara kolorimetri berdasarkan metode yang digunakan oleh Sudjadi dan Widjik (2005).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis pendahuluan sifat kimia bahan tanah gambut (sebelum perlakuan) menunjukkan bahwa nilai pH H_2O (1:5) tanah gambut tergolong sangat masam (pH 3,5). Nilai pH tanah gambut berhubungan erat dengan kandungan asam-asam organik seperti asam humat dan fulvat yang tinggi yang terbentuk selama proses pelapukan bahan organik selama pembentukan gambut. Asam-asam organik kaya gugus-gugus reaktif karboksil ($-\text{COOH}$) dan fenol ($\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$) bersifat asam lemah sehingga mudah terdisosiasi menghasilkan ion H^+ dalam jumlah banyak (Andriesse, 1974; Herviyanti, et al., 2006; Setyowati dan Ulfin, 2007).

Kandungan C-organiknya sangat tinggi (56,40%), sama dengan kandungan C-organik gambut dari daerah Air Sugihan Sumatera Selatan yaitu 58,76% (Hartatik dan Idris, 2008), Berengbengkell Kalimantan yang berkisar antara 54,44-57,78% (Dohong dan Sabiham, 2001), dan dari Kumpeh Jambi sebesar 53,8% (Riwandi, 2003). Nilai N-total 1,15% dengan nisbah C/N sebesar 49, walaupun N-total tinggi tetapi nisbah C/N sangat lebar menyebabkan N dalam tanah tidak mudah tersedia bagi tanaman. Bila nisbah C/N > 30 menyebabkan N yang dihasilkan dalam proses mineralisasi akan diimobilisasi oleh mikroorganisme untuk kebutuhan hidupnya, sehingga tidak tersedia bagi tanaman (Tisdale *et al.*, 1985). P-tersedia 20,90 $\mu\text{g g}^{-1}$ tergolong sedang dan P-total sebesar 175,62 $\mu\text{g g}^{-1}$ tergolong tinggi. Menurut Salampak (1999) kandungan P-tersedia mempunyai hubungan yang erat dengan kandungan P-total, dengan koefisien korelasi yang tinggi yaitu $r = 0,88^{**}$ keeratan hubungan tersebut ditunjukkan oleh persamaan regresi linear : $P\text{-tersedia} = 1,11 + 0,121 P\text{-total}$ ($r = 0,88^{**}$).

Nilai KTK sangat tinggi yaitu sebesar 164,75 cmol (+) kg^{-1} dan KB sangat rendah (7%), serta mempunyai basa-basa dapat dipertukarkan ($\text{Ca}_{\text{-dd}}$, $\text{Mg}_{\text{-dd}}$, $\text{K}_{\text{-dd}}$ dan $\text{Na}_{\text{-dd}}$) rendah secara berturut-turut sebesar 6,57; 2,48, 0,31 dan 0,45 cmol (+) kg^{-1} . Tingginya KTK tanah gambut erat kaitannya dengan gugus fungsional seperti karboksil dan fenolik yang terdapat pada asam-asam organik hasil dekomposisi bahan organik sebagai tapak reaktif. Keadaan dimana KTK sangat tinggi tetapi KB sangat rendah akan menghambat penyediaan hara bagi tanaman (Sagiman, 2007).

Kandungan basa-basa dapat dipertukarkan seperti $\text{Ca}_{\text{-dd}}$, $\text{Mg}_{\text{-dd}}$, $\text{K}_{\text{-dd}}$ dan $\text{Na}_{\text{-dd}}$ juga rendah berturut-turut sebesar 6,57; 2,48, 0,31 dan 0,45 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$. Kandungan unsur mikro tersedia Mn tinggi (31,72 $\mu\text{g g}^{-1}$), Fe dan Zn tergolong sedang masing-masing 7,04 dan 9,10 $\mu\text{g g}^{-1}$, dan Cu rendah (0,28 $\mu\text{g g}^{-1}$). Rendahnya kandungan basa-basa atau KB disebabkan karena gambut tersebut sangat tebal (6,5-8 m), terbentuk dari sisa-sisa tanaman yang miskin unsur hara, karena akar tanaman tidak lagi mencapai tanah mineral dibawahnya dan air hujan menjadi sumber hara satu-satunya. Menurut Hardjowigeno (1996) gambut yang sudah sangat tebal dan jauh dari sungai umumnya miskin (*oligotropik*) karena air hujan satu-satunya sumber hara. Berdasarkan sumber air yang mempengaruhi pembentukannya maka gambut di daerah penelitian dipengaruhi oleh air tawar. Kubah gambut tersebut diapit oleh dua sungai besar yaitu sungai Indragiri (Batang Kuantan) dan sungai Cinaku. Lokasi pengambilan contoh tanah gambut berada di sebelah selatan sungai Indragiri. Sungai Indragiri berasal dari komplek Bukit Barisan yang merupakan formasi pegunungan berapi muda dengan susunan bahan vulkanis bersifat intermedier. Sungai Cinaku yang bermuara di sungai Indragiri berasal dari pegunungan dengan susunan bahan pasir kwarsa diselingi batuan liat. Bahan induk ini relatif sangat miskin cadangan hara mineral (Bappeda Tingkat I Provinsi Riau dan Fakultas Pertanian Universitas Riau, 1995). Ketersediaan hara makro (N, P, K, Ca dan Mg) dalam tanah gambut sangat rendah, dan

kahat unsur mikro (Cu, Zn, Mn, Fe, B dan Mo), dimana ketersediaan Cu adalah terendah dibandingkan unsur mikro lain karena Cu terikat pada tapak reaktif senyawa organik seperti karboksil (-COOH) dan fenol (-OH) membentuk kompleks organo-kation Cu (kelat) sehingga tidak tersedia bagi tanaman (Hardjowigeno, 1996; Sagiman, 2007; Tim Sintesis Kebijakan, 2008 dan Simbolon, 2009).

Kadar abu atau sisa pemijaran bahan tanah gambut sebesar 3,67% atau sebesar 96,33% bila dinyatakan sebagai kehilangan pijar. Rendahnya kadar abu ini disebabkan oleh rendahnya kejenuhan basa dan bahan mineral lain. Secara fisiografi daerah Rengat dan Tembilahan merupakan satu grup fisiografi yang mempunyai bentuk permukaan seperti kubah (dome), yang disebut kubah kuantan, yang terbentuk dari timbunan bahan organik yang miskin hara dengan kadar abu yang rendah (Sudihardjo, *et al.*, 1990). Kadar abu mempunyai hubungan erat dengan KB, dengan koefisien korelasi (r) yang tinggi yaitu 0,87, dengan persamaan regresi linear: $\text{KB} = 2,91 + 0,974 \text{ kadar abu}$ ($r = 0,87^{**}$) (Salampak, 1999).

Hasil analisis sifat kimia fosfat alam (Tabel 1) menunjukkan bahwa kandungan P dan Ca dalam FA Hunan China dan *Christmas Island* tidak jauh berbeda, tetapi P dalam FA Petrokimia Gresik sedikit lebih rendah sedangkan Ca hampir setengahnya. Kandungan kation polivalen Fe dan Al atau sesquoksida R_2O_3 ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) pada FA Huinan China paling tergolong sangat rendah (2,28%), FA *Christmas Island* tinggi (11,19%) dan FA PT Petrokimia Gresik sangat tinggi (18,72%). Demikian juga halnya dengan kandungan kation polivalen lain seperti Mn, Zn dan Cu lebih rendah dalam FA Huinan China FA *Christmas Island* dibandingkan dalam FA Petrokimia Gresik.

1. Perubahan Fraksi P-Inorganik dan P-Organik Dalam Bahan Tanah Gambut yang Diberi Fosfat Alam

Fraksi P-Inorganik Tanah

Tabel 2 menunjukkan bahwa persentase peningkatan proporsi fraksi Pi-mudah labil akibat pemberian FA Huinan China > FA *Christmas Island* > PT Petrokimia Gresik, peningkatan semakin besar dengan semakin tinggi takaran FA dan semakin tingginya kandungan air (pada kondisi tergenang > kapasitas lapang). Fenomena ini berhubungan erat dengan kadar abu bahan tanah gambut yang sangat rendah yaitu 3,67% yang berarti miskin kation/fraksi inorganik. Kondisi dimana jumlah tapak reaktif relatif tinggi (KTK sangat tinggi) tetapi miskin kation/fraksi inorganik sedang tambahan kation polivalen melalui FA juga rendah maka kemampuan mengikat anion fosfat rendah. Akibatnya sebagian besar anion fosfat yang larut dari FA hanya terikat pada gugus fungsional asam organik. Menurut Matting (1995) ion fosfat yang terikat pada tapak reaktif gambut bersifat lemah/sangat labil sehingga mudah lepas.

Tabel 1. Sifat kimia dan kadar air fosfat alam yang digunakan

No	Sifat Kimia dan kadar air (Ekstraksi HClO ₄ + HNO ₃ pekat)	Jenis Fosfat Alam		
		Huinan China	<i>Christmas Island</i>	Petrokimia Gresik
1.	P ₂ O ₅ Total (%)	32,65	31,28	25,02
2.	Ca (%)	20,80	20,68	11,25
3.	Mg (%)	0,18	0,60	0,19
4.	Kation polivalen :			
	Fe (%)	0,77	2,40	5,10
	Al (%)	0,96	4,26	6,11
	R ₂ O ₃ (Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃) (%)	2,28	11,19	18,72
	Mn (µg g ⁻¹)	278,00	614,20	1 824,90
	Zn ((µg g ⁻¹)	2 248,20	2 500,90	2 967,40
	Cu ((µg g ⁻¹)	9,80	108,10	4 850,60
5.	Kadar Air (%)	2,76	2,90	9,33

Persentase peningkatan proporsi fraksi Pi- agak labil akibat pemberian FA Huinan China < *Christmas Island* < PT Petrokimia Gresik, peningkatan semakin kecil dengan semakin rendah takaran FA dan semakin rendah kandungan air (pada kondisi kapasitas lapang < tergenang). Hal ini disebabkan oleh sumbangan kation polivalen (Fe, Al, Cu, Zn dan Mn) dari FA Huinan China < FA *Christmas Island* < FA PT Petrokimia Gresik, sebaliknya kadar Ca dalam FA Huinan China dan *Christmas Island* > FA PT Petrokimia Gresik. Sehingga ion fosfat dalam tanah gambut yang diberi FA Huinan China dan *Christmas Island* lebih banyak terikat pada kompleks organo-kation Ca. Ion fosfat yang terikat pada kompleks organo-kation Ca lebih labil dibandingkan yang terikat pada tapak reaktif kompleks organo-kation Fe/Al atau polivalen lain. Sedangkan anion fosfat yang diikat oleh dua tapak reaktif kompleks organo-kation Fe/Al bersifat tidak labil. Semakin tinggi kandungan Fe/Al dan kation polivalen lainnya semakin besar proporsi Pi- agak labil, karena kompleks antara asam humik dan kation logam bersifat stabil dengan urutan kestabilan : Al³⁺ > Fe³⁺ > Cu²⁺ > Mn²⁺ > Zn²⁺ >> Mg²⁺ >

Ca²⁺ (Tan, 2003). Menurut Matting (1995) ion fosfat yang terikat pada satu tangan kompleks organo-kation Fe/Al bersifat agak labil, sedangkan yang terikat pada dua kompleks organo-kation Fe/Al bersifat tidak labil. Kation polivalen seperti Fe, Al, Ca dan Mg dalam keadaan terbuka mampu mengikat P yang terlarut (Stevenson, 1994). Mattingly (1985) menyarankan penggunaan kation polivalen seperti Fe, Al dan Ca pada bahan organik agar terjadi kompleks dengan unsur tersebut sehingga P dapat terikat secara kuat dan tidak mudah *leaching*. Appelt, *et al.* (1975) berhasil membentuk kompleks hidroksi Al-humus yang mampu menyerap P, erapan P meningkat bila nisbah Al:OH meningkat. Kompleks Al-organik-fosfat diketahui merupakan suatu rangkaian ikatan yang stabil (Sinha, 1971). Semakin besar kandungan Fe dan Al dalam tanah gambut semakin meningkat kapasitas mengikat fosfat (Suryanto, 1993). Kemungkinan ikatan antara senyawa organik, kation polivalen dan ion fosfat: R(COO)₃AlHPO₄⁻, R(COOH)₃AlH₂PO₄, (COO)₂AlH₂PO₄, R(COO)₂AlHPO₄⁻ dan RCOOAlHPO₃⁻, ikatan tersebut dapat juga terjadi pada kation Fe (Bloom, 1981).

Tabel 2. Peningkatan fraksi P-inorganik dalam bahan tanah gambut terhadap kontrol setelah diinkubasi 1 bulan dengan fosfat alam pada kondisi kapasitas lapang dan tergenang

Perlakuan	Total P-inorganik mudah Labil		Total P-inorganik agak Labil	
	Kapasitas Lapang	Tergenang	Kapasitas Lapang	Tergenang
	%.....			
Ci 25% P	68,0	71,1	53,9	60,8
Ci 50% P	75,8	75,0	69,8	66,3
Ci 75% P	72,0	77,2	78,1	77,6
Ch 25% P	66,1	64,0	50,3	57,8
Ch 50% P	72,6	73,9	61,2	61,1
Ch 75% P	71,5	71,6	71,8	79,5
Gr 25% P	65,9	64,3	72,4	77,0
Gr 50% P	67,8	68,0	83,4	85,1
Gr 75% P	72,6	71,8	86,1	85,2

Keterangan : Ci, Ch dan Gr berturut adalah fosfat alam Huinan China, *Christmas Island* dan PT Petrokimia Gresik dengan takaran 25, 50 dan 75% dari erapan maksimum P.

Fraksi P Organik Tanah

Tabel 3 menunjukkan bahwa peningkatan proporsi Po-mudah labil akibat pemberian FA Huinan China > FA *Christmas Island* > PT Petrokimia Gresik, peningkatan tersebut semakin besar dengan semakin tingginya takaran FA dan semakin besar kandungan air (kondisi tergenang > kapasitas lapang). Persentase peningkatan proporsi fraksi Po-agak labil akibat pemberian FA Huinan China < *Christmas Island* < PT Petrokimia Gresik, peningkatan tersebut semakin tinggi dengan semakin tingginya takaran FA baik pada kondisi kapasitas lapang maupun tergenang. Hal ini disebabkan oleh sebagian P yang ditambahkan ke tanah diambil oleh mikroorganisme, yang selanjutnya diinkorporasikan ke bentuk Po.

Pemberian fosfat alam meningkatkan ketersediaan sumber energi bagi mikroorganisme sehingga memacu pertumbuhan dan aktivitasnya. Penambahan P ke lahan sawah yang defisien P memacu pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme sekitar perakaran (Rao, *et al.*, 1986; Adhya, *et al.*, 1998). Kadar Po dalam tanah sekitar 20-80% (Jungk, *et al.*, 1993). Unsur P dibutuhkan mikroorganisme dalam pembentukan fosfolipid sebagai komponen penting membran sel berbagai organisme (Tisdale, *et al.*, 1985; Schinner, *et al.*, 1996). Fosfatidilkholin dan fosfatidiletanolamin merupakan derivat fosfolipid yang dominan terdapat dalam tanah. Sebagian Po berada dalam bentuk ester ortofosfat, sebagian lagi bentuk mono dan diester. Inositol fosfat, fosfolipid, asam nukleat, nukleotida, dan gula fosfat merupakan bentuk-bentuk senyawa ester yang telah diidentifikasi, dimana tiga senyawa pertama bersifat dominan dalam tanah (Tisdale, *et al.*, 1985). Senyawa fosfolipid, asam nukleat, inositol, dan asam fulvat merupakan bentuk Po yang bersifat agak labil dibandingkan dengan Po asam humat yang relatif resisten (Stewart dan Sharpely, 1987). Dinding sel bakteri terdiri dari senyawa ester yang lebih stabil (Tisdale, *et al.*, 1985). Fraksi Po sama halnya dengan Pi juga dapat

bereaksi dengan Al dan Fe membentuk garam sukar larut sehingga sukar didegradasi oleh mikroorganisme (Tisdale, *et al.*, 1985). Senyawa inositol heksafosfat dapat bereaksi dengan Al, Fe dan Ca membentuk garam sukar larut, garam tersebut juga sukar didegradasi mikroorganisme (Tisdale, *et al.*, 1985). Jenis mineral liat seperti monmorilonit dan sequioksida dapat mengikat inositol-P secara kuat, tapak erapan P pada koloid tanah juga bisa ditempati oleh inositol penta- dan heksa-fosfat (Tisdale, *et al.*, 1985). Pada kondisi kekurangan P mikroorganisme dan tanaman menghasilkan enzim fosfatase (Duff, *et al.*, 1994; Schinner *et al.*, 1996), produksinya terus meningkat selama ketersediaan P dalam tanah rendah (Duff, *et al.*, 1994). Enzim fosfatase dapat diadsorpsi koloid tanah atau membentuk ikatan kovalen dengan bahan organik, enzim produksi mikroorganisme dominan dalam tanah (Schinner *et al.*, 1996).

Tabel 3 menunjukkan bahwa proporsi Po-tidak labil menurun dengan pemberian FA, semakin besar kadar kation polivalen dalam FA semakin rendah penurunan proporsi Po-tidak labil. Sebaliknya semakin rendah kadar kation polivalen dalam FA semakin besar penurunan proporsi Po-tidak labil. Dalam penelitian ini diperoleh urutan proporsi Po-tidak labil pada perlakuan PT Petrokimia Gresik > Huinan China > *Christmas Island*. Hal ini karena telah terjadi dekomposisi bahan organik dan senyawa asam humat sebagai bahan penyusun gambut yang relatif resisten akibat peningkatan populasi dan aktivitas mikroorganisme. Dengan demikian terjadi penurunan Po-tidak labil (Po-asam humat). Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa dekomposisi bahan gambut dapat ditekan dengan penambahan kation polivalen. Dengan semakin tinggi kadar kation polivalen dalam FA semakin besar, pembentukan garam kompleks sukar larut/senyawa kompleks organo-kation logam yang lebih stabil.

Tabel 3. Peningkatan persentase fraksi P-organik dalam bahan tanah gambut terhadap kontrol setelah diinkubasi 1 bulan dengan fosfat alam pada kondisi kapasitas lapang dan tergenang

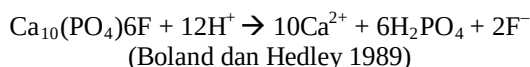
Perlakuan	Total P-organik mudah Labil		Total P-organik Agak Labil		Total P-organik Tidak Labil	
	Kapasitas Lapang	Tergenang	Kapasitas Lapang	Tergenang	Kapasitas Lapang	Tergenang
	%.....					
Ci 25% P	67,2	68,1	16,5	23,6	78,5	85,5
Ci 50% P	72,3	77,4	70,8	34,6	48,3	36,9
Ci 75% P	73,3	76,3	74,9	56,7	82,4	50,3
Ch 25% P	64,2	69,2	75,1	66,8	73,5	79,8
Ch 50% P	75,8	75,3	80,9	81,9	80,3	78,7
Ch 75% P	70,9	75,3	82,7	75,4	90,0	94,7
Gr 25% P	45,5	53,4	81,1	75,5	81,1	81,4
Gr 50% P	51,9	60,4	82,4	78,6	94,7	96,7
Gr 75% P	66,3	70,4	85,4	81,9	96,4	94,5

Keterangan : Ci, Ch dan Gr berturut adalah fosfat alam Huinan china, *Christmas Island* dan PT Petrokimia Gresik dengan takaran 25, 50 dan 75% dari erapan maksimum P.

2. Kelarutan P Fosfat Alam Pada Tanah Gambut

Pola kelarutan P dari fosfat alam Huinan China, *Christmas Island* dan PT Petrokimia Gresik yang diinkubasi dalam tanah gambut secara umum hampir sama. Kelarutan P dari FA Huinan China > *Christmas Island* > PT Petrokimia Gresik (Gambar 1). Konsentrasi P larut air pada perlakuan kontrol cukup rendah dan cenderung stabil sampai minggu ke-12. Pemberian FA dari Huinan China, *Christmas Island* dan PT Petrokimia Gresik umumnya meningkatkan konsentrasi P larut air cukup tinggi pada minggu ke-3 dan terus meningkat hingga minggu ke-6, selanjutnya cenderung stabil hingga minggu ke-10, lalu menurun pada minggu ke-12.

Fenomena ini erat kaitannya dengan kandungan asam-asam organik seperti asam fulvat dan asam humat sebagai hasil perombakan bahan organik pada tanah gambut sangat tinggi menjadi penyebab rendahnya pH (Andriesse, 1974; Herviyanti, *et al.*, 2006; Setyowati dan Ulfin, 2007). Asam fulvat dan asam humat memiliki gugus-gugus karboksil (-COOH) dan fenolat (-OH) yang mendominasi kompleks pertukaran dan bersifat asam lemah sehingga dapat terdisosiasi menghasilkan H^+ dalam jumlah banyak (Stevenson, 1994). Kehadiran asam organik serta CO_2 terlarut dalam air menambah konsentrasi ion H^+ , yang mampu mengganti/menghidrolisis kation-kation basa (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} dan Mg^{2+}) dari struktur mineral/batuan (Boland dan Hedley, 1989; Ismangil dan Hanudin, 2005). Proses hidrolisis mineral, H^+ menggantikan kation penyusun struktur mineral sehingga mineral rusak yang akhirnya larut/membentuk mineral baru (Ismangil dan Hanudin, 2005). Berikut ini reaksi hidrolisis fosfat alam oleh ion H^+ :



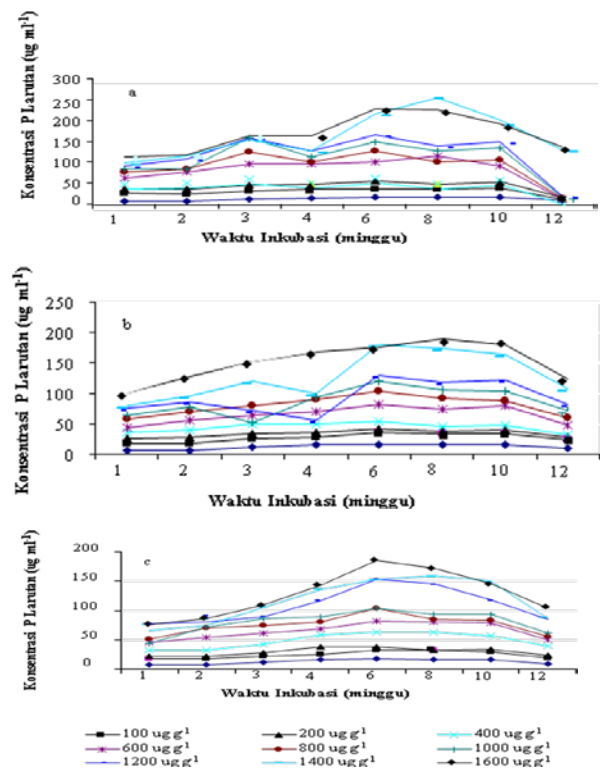
Reaksi tersebut menunjukkan bahwa pelarutan fosfat alam membutuhkan lingkungan yang masam. Tanah gambut yang kaya akan gugus fungsional karboksil (-COOH) dan fenolat (-OH) berperan dalam mengkelat dan menurunkan aktifitas Ca^{2+} dalam larutan tanah yang selanjutnya mendorong pelarutan fosfat alam. Asam organik yang efektif dalam melarutkan mineral atau batuan adalah asam organik sederhana dengan berat molekul rendah, seperti asam humat dan fulvat. Senyawa humat khususnya asam fulvat memiliki kontribusi yang besar terhadap proses pembentukan senyawa kompleks antara asam-asam organik dan kation/unsur dari mineral/batuan (Ismangil dan Hanudin, 2005). Pelarutan unsur hara oleh asam organik sederhana diakibatkan pengaruh kemasaman, namun sering terjadi reaksi pengikatan (Tan, 1977). Suryanto (1991) melaporkan bahwa TSP, (FA) batuan sedimen dan FA batuan beku/apatit dalam tanah gambut dapat melepaskan P cukup tinggi, dengan urutan : TSP > FA batuan sedimen > FA batuan beku. Pemberian TSP, FA batuan sedimen dan FA batuan beku pada gambut sebesar $7.857 \mu g P$ per 25 g gambut, dengan ekstrak air di lepasan berturut-turut

6.218; 6.011 dan $4.362 \mu g P$ per 25 g gambut atau 79; 77 dan 56% P. Pelepasan P semakin meningkat dengan semakin lama masa inkubasi, P yang lepas setelah diinkubasi selama 1, 2, 4, dan 8 minggu berturut-turut sebesar 66,97; 69,97; 70,37; dan 74,73% P. Hartatik dan Idris (2008) melaporkan bahwa kelarutan FA maroko lebih tinggi dari FA Ciamis dan kelarutan terendah FA Christmas dengan urutan SP-36 > FA maroko > FA Ciamis > FA Christmas.

KESIMPULAN

Proporsi P_i dan P_o -mudah labil bahan tanah gambut lebih tinggi pada pemberian fosfat alam Huinan China diikuti *Christmas Island* dan PT Petrokimia Gresik. Proporsi P_i dan P_o -agak labil serta P_o -tidak labil lebih tinggi pada pemberian fosfat alam dari PT Petrokimia Gresik, diikuti *Christmas Island* dan Huinan China, P_o -tidak labil pada tanpa pemberian fosfat alam paling tinggi.

Kelarutan P dari FA Huinan China paling tinggi diikuti *Christmas Island* dan PT Petrokimia Gresik. Konsentrasi P larut air meningkat cukup tinggi minggu ke-3 terus meningkat hingga minggu ke-6, cenderung stabil hingga minggu ke-10 dan kembali turun minggu ke-12, pola kelarutan ketiga jenis fosfat alam tersebut adalah sama.



Gambar 1. Pola kelarutan P dari fosfat alam (a) Huinan China, (b) *Christmas Island* dan (c) Petrokimia Gresik pada tanah gambut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Pemda provinsi Riau dan Tim Manajemen Program Doktor (TMPD) dari Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian ini. Terima kasih yang sebesar-besarnya diucapkan kepada Prof. Dr. Ir. H. Supiandi Sabiham, M.Agr, Dr. Ir. H. Abdul Rachim M.S. (*Almarhum*), Prof. Dr. Ir. H. Sarwono Hardjowigeno, M.Sc., Dr. Ir. H. Iswandi Anas, M.Sc. dan Dr. Ir. Fred Rumawas yang telah banyak memberikan bimbingan dan saran dalam pelaksanaan penelitian hingga penulisan laporan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Teknisi Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah, Departemen Tanah, Fakultas Pertanian IPB beserta seluruh staf, analis dan karyawan atas segala bantuan saran dan fasilitas penelitian lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhya, T.K., P. Pattnaik., S.N. Satpathy, S. Kumaraswamy and N. Sethunathan. 1998. Influence of phosphorous application on methane emission and production in flooded paddy soils. *Soil Biol. Biochem.* 30 (2):177-181.
- Andriesse, J.P. 1974. Tropical peats in South East Asia. Departement of Agriculture Res. of Royal Trop. Inst. Communication. Amsterdam. 63 pp.
- Appelt, H., N.T. Coleman and P.F. Pratt. 1975. Interactions between organic compounds, minerals, and ions in volcanic-ash-derived soils : II. Effects of organic compounds on the adsorption of phosphate. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39:628 - 630.
- Bappeda Tingkat I Provinsi Riau dan Fakultas Pertanian Universitas Riau. 1995. Pengkajian pola pencetakan sawah pada lahan rawa/pasang surut di Kabupaten Indragiri Hulu. Pekanbaru.
- Black, C.A. 1965. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.* Ed. Soc. Agron. Inc. Publ. Wisconsin. USA. 1582 pp.
- Blakemore, L.C., P.L. Searle and B.K. Daly. 1987. Methods for chemical analysis of soils. *Soil Bureau Sci. Reports.* New Zealand. 103 pp.
- Bloom, P.R. 1981. Phosphorus adsorption by an aluminum peat complex. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:267 - 272.
- Bolan, N.S. and M.J. Hedley. 1989. Dissolution of phosphate rock in soil. 1. Evaluation of extraction method for measurement of phosphate rock dissolution. *Fertilizer Research* 19:65-75p.
- Bouwman, A.F. 1990. Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. Pp. 75-97. *In* A. F. Bouwman (Ed). *Sopil and the greenhouse effects.* John Wiley and Sons, Chichester.
- Dohong, S. dan S. Sabiham, 2001. Kandungan Beberapa Derivat asam fenolat dalam tanah gambut Kalimantan Tengah berdasarkan lingkungan pembentukannya. *Agrista Vol 5 (3):* 197-203.
- Duff, S.M.G., G. Sarath and W.C. Plaxton. 1994. The role of acid phosphatase in plant phosphorus metabolism. *Physiol. Planta.* 90:791-800
- Hardjowigeno, S. 1996. Pengembangan lahan gambut untuk pertanian : Suatu peluang dan Tantangan. Orasi Ilmiah Guru Besar Tetap Ilmu Tanah. Fakultas Pertanian, IPB. 22 Juni 1996.
- Hartatik, W. dan K. Idris. 2008. Kelarutan fosfat alam dan SP-36 dalam gambut yang diberi bahan amelioran tanah mineral. *Jurnal Tanah dan Iklim.* No. 27: 45-56.
- Herviyanti, T.B. Prasetyo dan F. Ahmad. 2006. Penyipatan asam humat dari tanah gambut dan potensinya dalam mengikat Besi (Fe) Meracun pada tanah sawah bukaan baru. *Jurnal Akta agrosia Vol 9 No.2:* 194-101.
- Ismangil dan E. Hanudin. 2005. Degradasi mineral batuan oleh asam-asam organik. *Jurnal ilmu Tanah dan Lingkungan.* Vol. 5 (1): 1-17.
- 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.
- Jungk, A., B. Seelin and J. Gerke. 1993. Mobilization of different phosphate fractions in the rhizosphere. *Plant Soil* 155/156 :91-94.
- Linehan, D.J. 1985. Organic matter and trace elements in soils. *In* D. Vaughan, and R. E. Malcom (eds). *Soil Organic Matter and Biological Activity.* Martinus Nijhoff Publ. Boston.
- Mattingly, G. E.G. 1985. Labile phosphate in soils. *In* Y.K. Soon (ed). *Soil Nutrient Availability.* Van Nostrand Reinhold co. New York.
- Page, A.L., R.H. Miller and D.R. Keeney. 1982. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties 2nd:* Number 9 (Part 2) in the Series Agronomy. Amer. Soc. of Agron. Inc; Soil Sci. Soc. Amer. Inc. Madison, USA. 1159 pp.
- Rao, V.R., J.L.N. Rao and T.K. Adhya. 1986. Heterotrophic nitrogen fixation (C_2H_2)

- reduction) as influenced by phosphorus application in paddy soils. *Plant and Soil*. 92:125-132.
- Riwandi. 2003. Indikator stabilitas gambut berdasarkan analisis kehilangan karbon organik, sifat fisiko kimia dan komposisi bahan gambut. *Jurnal Penelitian UNIB*. Vol. IX (1): 25-36.
- Sagiman, S. 2007. Pemanfaatan lahan gambut dengan perspektif pertanian berkelanjutan. Orasi Ilmiah Guru Besar Tetap Ilmu Kesuburan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Tanjungpura.
- Salampak. 1999. Peningkatan produktivitas tanah gambut yang disawahkan dengan pemberian bahan amelioran tanah mineral berkadar besi tinggi. Disertasi. Program Pascasarjana IPB. Bogor.
- Schinner, E., R. Ohlinger, E. Kandeler and R. Margesin. 1996. *Methods in Soil Biology*. German. 426 pp.
- Setyowati, D. dan I. Ulfen. 2007. Optimasi kondisi penyerapan ion aluminium oleh asam humat. *Akta Kimindo*. Vol. 2 No. 2: 85-92.
- Simbolon, H. 2009. Peat swamp forest ecosystem: An important ecosystem on regional land use planning. Dalam *scientific Exploration and sustainable Management of Peat Land Resources in Giam Siak Kecil-Bukit Batu Biosphere reserve*, Riau.
- Sinha, M.K. 1971. Organic-metallic phosphates. I. Interaction of phosphorus compounds with humic substances. *Plant Soil*. 35:471 - 484.
- Stewart, J.W.B and A.N. Sharpley. 1987. Control on dynamics of soil and fertilizer phosphorus and sulfur. In: Follett, R.F. Stewart, J.W.B. and Cole. C.V. (eds) *Soil Fertility and Organic Matter as Critical Components of Production*. SSSA Special Publication 19. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. pp.101-121.
- Stevenson, F.J. 1994. *Humus Chemistry : Genesis, composition, reaction*. John Wiley & Sons Inc. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore. 443 pp.
- Sudihardjo, A. M., H. J. Deri, H. Sosiawan, B. Kalsan, Mijiono, G. Jayanto, J. Dai dan A. Hidayat. 1990. *Buku Keterangan Peta satuan lahan dan tanah lembah rentang Sumatera*, Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian. Boigor. P:15-25.
- Sudjadi, M dan I.M. Widjik. 2005. Metode analisis air irigasi. *Dalam Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, air dan Pupuk*. Balai Penelitian Tanah. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian. Bogor.
- Suryanto. 1991. The behavior of P fertilizers in Tropical Peat (toward the availability of P, Ca, K and change of pH). Paper of The International Symposium on Tropical Peatland in Kuching, Serawak. Malaysia. 11p.
- _____. 1993. Pengapuran dan perlakuan besi untuk mengurangi pelindihan fosfat pada tanah gambut, *dalam Prosiding Seminar Nasional Gambut I*, HBI. Jakarta. P: 318-327.
- Tan, K.H. 2003. *Humic Matter in the soil and the environment; Principles and Controversies*. Marcel Dekker, Inc. new York. USA. P 359.
- Tim Sintesis Kebijakan. 2008. Pemanfaatan dan konservasi ekosistem lahan rawa gambut di Kalimantan. *Pengembangan Inovasi Pertanian* 1 (2): 149-156.
- Tisdale, S.L., W.L. Nelson, and J.D. Beaton. 1985. *Soil Fertility and Fertilizers*. 4th ed. The McMillan Publ. Co. New York. 694 pp.
- Widjaja-Adhi, I.P.G. J.A. Silva, and R.L.Fox. 1990. Assessment of external P requirement of maize on Paleuduls and Eutruxtox. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk*. 9: 14-20.