

PELARUTAN FOSFAT YANG TERJERAP PADA TANAH MINERAL MASAM OLEH ASAM FULVAT DARI TANAH GAMBUT

Solubilization of Phosphate Adsorbed on Acid Mineral Soil by Peat Soil Fulvic Acid

Uripto Trisno Santoso^{1*}, Dewi Umaningrum¹, Radna Nurmasari¹, Amelia Harianti¹

¹Program Studi Kimia, FMIPA Unlam,
Jl. Jend. A. Yani Km 35,8 Banjarbaru, Kalimantan Selatan 70714

*email: uriptots@yahoo.com

ABSTRAK

Telah dilakukan kajian efektivitas asam fulvat dalam melarutkan fosfat yang terjerap pada tanah mineral masam pada skala laboratorium. Dua parameter yang mempengaruhi pelarutan fosfat, yakni konsentrasi awal asam fulvat dan waktu reaksi, telah dipelajari secara statistik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu reaksi mempengaruhi jumlah P-tersedia secara signifikan. Keberadaan asam fulvat dapat melarutkan fosfat yang terjerap secara signifikan. Namun demikian, variasi konsentrasi asam fulvat 50 hingga 250 ppm tidak meningkatkan kemampuan asam fulvat dalam melarutkan fosfat yang terjerap tetapi pada konsentrasi asam fulvat 500 ppm terjadi peningkatan P-tersedia secara signifikan.

Kata kunci: asam fulvat, pelarutan, fosfat, tanah mineral masam

ABSTRACT

Study on the effectiveness of fulvic acid on solubilization of phosphate that was adsorbed onto acid soil has been done in a laboratory scale. Two parameters influencing the phosphate solubilization, i.e., initial concentrations of fulvic acid and reaction time, were evaluated statistically. The results showed that the reaction time affected the amount of the available-phosphorus significantly. The presence of fulvic acid solutions could solubilize the adsorbed-phosphate significantly. However, there was no improvement can be observed in the concentration range of fulvic acid from 50 to 250 ppm, but a significant enhancement of available-phosphorus can be observed in the excess fulvic acid (500 ppm).

Keywords: fulvic acid, solubilization, phosphate, acid mineral soil

PENDAHULUAN

Masalah hara fosfat mendapatkan prioritas utama dalam kajian kesuburan tanah, karena fosfor (P) merupakan unsur hara yang penting bagi pertumbuhan dan produksi tanaman, menempati urutan kedua setelah unsur hara nitrogen (Marschner, 1986). Tanah mineral masam merupakan tanah yang rendah status hara P dan memiliki kapasitas adsorpsi hara P yang tinggi (Siradz, 1999). Indonesia memiliki tanah mineral masam yang cukup luas yakni sekitar 30% dari luas daratan di Indonesia (Siradz, 1999). Pemberian pupuk fosfat

secara langsung pada tanah mineral masam tidak mengatasi masalah karena sebagian besar fosfat yang diberikan diadsorpsi secara kuat oleh koloid tanah sehingga tidak tersedia bagi tanaman. Tingginya adsorpsi fosfat terutama dikaitkan dengan keberadaan mineral oksida atau ion hidoksida dari Fe dan Al yang banyak terkandung dalam tanah masam (Stevenson, 1994; Balemi and Negisho, 2012; Sharma dkk., 2013).

Salah satu upaya untuk meningkatkan P-tersedia dan menurunkan aktivitas mineral Fe dan Al dalam mengikat fosfat pada tanah mineral masam adalah dengan penambahan

bahan organik dari berbagai biomassa tanaman (Hue dkk., 1996; Palm dkk., 1997; Suntoro dkk., 2002; Salim dkk., 2005; Tani dkk., 2010). Ini dimungkinkan dapat terjadi karena bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah akan terdekomposisi dan menghasilkan berbagai asam organik, seperti asam humat, fulvat, oksalat, tartat, sitrat, dan asetat, yang mampu membentuk kompleks dengan Al dan Fe sehingga kapasitas adsorpsi fosfat oleh koloid tanah akan berkurang (Huang dan Violante, 1997). Hasil penelitian Suntoro (2002) menunjukkan bahwa di antara asam asetat, asam humat, asam fulvat, asam laktat dan asam oksalat dari hasil dekomposisi suatu biomassa tanaman, ternyata asam humat dan fulvat memiliki keeratan hubungan yang paling kuat terhadap P-tersedia dibandingkan dengan asam-asam organik yang lain.

Salah satu bahan alam yang kaya akan asam fulvat adalah air dan tanah gambut. Air gambut adalah air permukaan atau air tanah yang banyak terdapat di daerah pasang surut, berawa dan dataran rendah, berwarna merah kecoklatan, berasa asam (tingkat keasaman tinggi), dan memiliki kandungan organik tinggi (Kusnaedi, 2006). Kandungan zat organik yang tinggi dalam air gambut ini didominasi oleh senyawa humat yang mengakibatkan air berwarna kuning-kecoklatan dan bersifat asam (Kusnaedi, 2006). Karena secara definisi fraksi senyawa humat yang larut dalam air pada pH asam, netral maupun basa adalah asam fulvat maka jumlah asam fulvat dalam air gambut lebih tinggi daripada jumlah komponen asam

humat (fraksi senyawa humat yang larut dalam air pada pH basa tetapi tidak larut dalam air pada pH asam). Mengingat bahwa Indonesia memiliki lahan rawa gambut terluas di antara negara-negara tropis di dunia (Jaenicke dkk., 2008; Ratmini, 2012) maka asam fulvat dari air dan tanah gambut memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai bahan amelioran untuk meningkatkan kadar P-tersedia dalam tanah mineral masam. Pada artikel ini dilaporkan hasil penelitian tentang kemampuan asam fulvat yang diekstraksi dari tanah gambut dalam melarutkan fosfat yang terjerap pada tanah mineral masam dengan variabel penelitian meliputi pH tanah, konsentrasi asam fulvat dan waktu reaksi.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat gelas laboratorium, sentrifus, *freeze dryer*, neraca analitis, ayakan tanah 2 mm dan 0,5 mm, *shaker GFL 3005*, *hotplate*, *magnetik stirer*, pH meter Jenway 3040 *ion analyze*, dan Spektrofotometer UV-Vis 6500 Kruss-Optronic Germany.

Tanah mineral masam yang digunakan adalah tanah podsolik yang diambil dari Kecamatan Cempaka, Banjarbaru, Kalimantan Selatan. Asam fulvat yang digunakan merupakan hasil ekstraksi tanah gambut dari kecamatan Gambut, Kabupaten Banjar, Kalimantan Selatan, menggunakan metode isolasi yang direkomendasikan oleh *International Humic Substances Society*

(Tarchitzky dkk., 1993) dengan beberapa modifikasi (Santoso dkk., 2005).

Bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini berkualitas analitik, antara lain: HCl, NaOH, indikator *phenoftalein* dan *metil orange*, resin Amberlite XAD-7, resin kation Amberlite IRA-120, glass wool, HClO₄, HNO₃, HCl, NH₄F, larutan amonium molibdat, asam sulfat, kalium stibium tartrat, larutan asam askorbat, KH₂PO₄, CaCl₂, akuades, toluena, tablet buffer pH 4,0 dan 7,0.

Prosedur Kerja

Penjerapan Fosfat pada Tanah Mineral Masam

Metode penjerapan fosfat pada tanah mineral masam dilakukan seperti pada penelitian adsorpsi fosfat pada tanah mineral masam Santoso dkk. (2007). Sebanyak 0,5 gram tanah dimasukkan ke dalam beaker glass disuspensikan ke dalam 10 mL larutan P 1000 mg L⁻¹ yang mengandung CaCl₂ 0,01 M dan 1 tetes toluena. Larutan kemudian diaduk selama 1, 2, 3, 6, 12, 24, 48, dan 72 jam. Setelah selang waktu ini, masing-masing suspensi disentrifus pada kecepatan 3000 rpm dan supernatannya disaring dengan kertas saring Whatman 42. Sebanyak 2 mL filtrat dimasukkan ke dalam tabung reaksi, ditambahkan 7 mL akuades, 1 mL larutan pengompleks askorbat, digojog selama 5 menit, didiamkan selama 20 menit, dan kemudian diukur absorbansinya pada panjang gelombang 710 nm.

Isoterm adsorpsi ditentukan secara *batch* melalui percobaan adsorpsi pada konsentrasi P yang divariasi. Sebanyak 0,5

gram tanah ditambahkan ke dalam 10 mL larutan P pada berbagai konsentrasi: 25, 50, 100, 250, 500, dan 1000 ppm. Data eksperimen kemudian diaplikasikan pada persamaan Langmuir.

Pelarutan Fosfat oleh Asam Fulvat

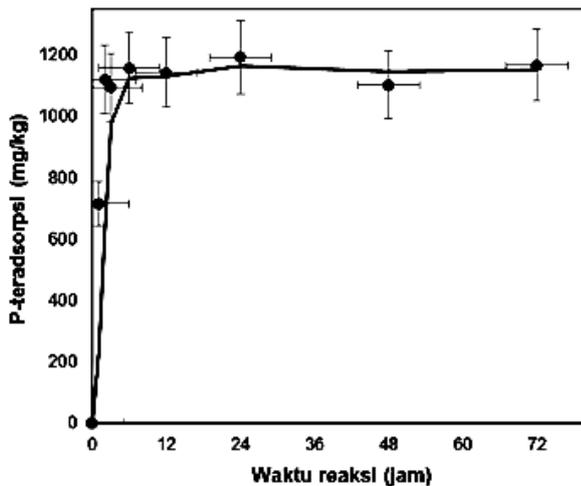
Sebanyak 5 gram tanah yang telah menjerap fosfat (hasil percobaan 2.2) dimasukkan ke dalam botol plastik ditambahkan 10 mL asam fulvat 250 ppm dan 1 tetes toluena. Campuran ini dikocok selama 24 jam. Setelah 24 jam, pengkocokan dihentikan. Prosedur yang sama dibuat dalam 6 botol plastik untuk waktu reaksi 2, 3, 4, 5, 6 dan 7 hari. Setelah selang waktu ini, masing-masing suspensi disentrifus pada kecepatan 3000 rpm dan supernatannya disaring dengan kertas saring Whatman 42, kemudian kadar P-terlarut dalam filtrat dianalisis dengan cara yang sama pada prosedur 2.2. Percobaan yang sama diulang menggunakan air sebagai pembanding (kontrol) dalam melarutkan fosfat yang terjerap pada tanah masam.

Percobaan yang sama diulang tetapi variasi konsentrasi asam fulvat 50, 100, 150 dan 500 ppm, untuk mempelajari pengaruh konsentrasi asam fulvat terhadap pelarutan fosfat dari tanah mineral masam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penjerapan Fosfat pada Tanah

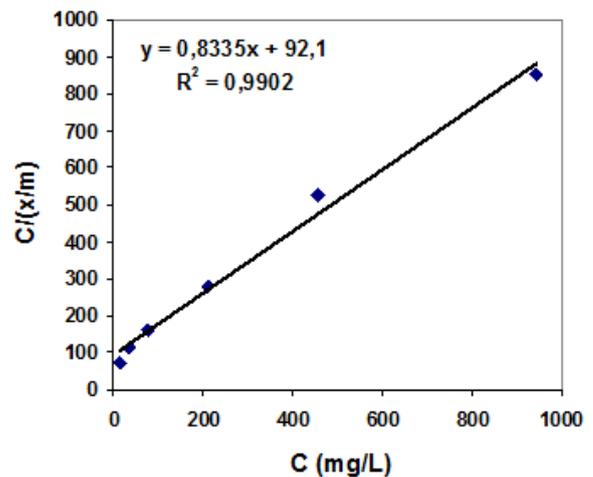
Hasil percobaan untuk menentukan waktu kesetimbangan adsorpsi fosfat pada tanah mineral masam dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan P-teradsorpsi dan waktu reaksi adsorpsi.

Data Gambar 1 menunjukkan adsorpsi fosfat pada tanah mineral masam berlangsung dengan cepat. Jumlah fosfat yang teradsorpsi sebanyak 716, mg/kg yang meningkat dengan cepat menjadi 1119,8 mg/kg dan kemudian cenderung meningkat dengan perlahan dengan bertambahnya waktu reaksi hingga mencapai maksimal pada waktu reaksi 24 jam, yakni sebesar 1199,76 mg/kg. Setelah 24 jam reaksi (hingga 72 jam reaksi), jumlah fosfat yang teradsorpsi cenderung konstan. Berdasarkan data ini maka dapat dinyatakan bahwa waktu kesetimbangan adsorpsi fosfat pada sampel tanam masam ini adalah 24 jam. Hasil penelitian ini sesuai dengan hasil penelitian Siradz (1999) yang menunjukkan bahwa waktu kesetimbangan adsorpsi fosfat pada mineral kaolin dan mineral oksida besi dari tanah mineral masam adalah 24 jam. Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian Ikhsan dkk. (2008) yang menunjukkan bahwa waktu kesetimbangan adsorpsi fosfat pada mineral geotit dan mineral montmorilonit adalah sekitar 24 jam.

Hasil percobaan adsorpsi fosfat pada tanah masam pada berbagai konsentrasi awal fosfat pada waktu reaksi 24 jam kemudian diaplikasikan ke persamaan Langmuir (Gambar 2).



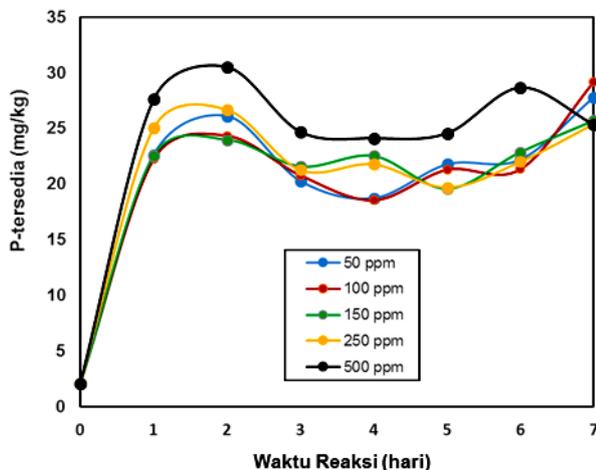
Gambar 2. Isoterm Langmuir adsorpsi fosfat pada tanah mineral masam.

Berdasarkan nilai kemiringan (*slope*) pada Gambar 2 diperoleh kapasitas adsorpsi tanah mineral masam ini terhadap fosfat adalah sebesar 1199,76 mg/kg tanah atau 1200 mg/kg tanah.

Pelarutan Fosfat yang Terjerap pada Tanah oleh Asam Fulvat

Fosfor- atau P-tersedia bagi tanaman adalah bagian fosfat dalam tanah yang dapat larut dalam air atau bagian fosfat yang terjerap pada tanah tetapi masih bisa diekstrak (dilarutkan) oleh asam-asam organik encer (hasil dekomposisi biomassa tanaman) (Tan, 1991). Oleh karenanya kemampuan asam fulvat dalam melarutkan fosfat yang terjerap pada tanah masam dapat ditentukan dengan cara menentukan jumlah fosfat yang terjerap pada tanah yang masih dapat dilarutkan oleh asam fulvat.

Berdasarkan hasil penelitian Fukushima dkk. dalam Stevenson (1994) yang menunjukkan bahwa kapasitas pengikatan kation mempunyai korelasi positif dengan jumlah gugus-gugus OH dan COOH, maka dapat diduga bahwa konsentrasi asam humat atau asam fulvat berpengaruh terhadap yang terjerap pada tanah mineral masam. Semakin besar konsentrasi asam fulvat maka akan semakin banyak gugus-gugus OH dan COOH yang dapat membentuk kompleks dengan kation-kation Al^{3+} dan Fe^{3+} dan akan semakin besar jumlah fosfat yang dapat dilarutkan. Hasil uji pengaruh konsentrasi asam fulvat terhadap pelarutan fosfat yang terjerap pada tanah mineral masam disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh konsentrasi asam fulvat (50, 100, 150, 250, dan 500 ppm) dalam melarutkan fosfat terjerap pada tanah mineral masam.

Gambar 3 menunjukkan jumlah fosfat pada sampel tanah yang dapat dilarutkan oleh asam fulvat 50, 100, 150, 250, dan 500 ppm. Pada rentang waktu reaksi 1 hingga 6 hari tampak bahwa jumlah fosfat yang dapat larut oleh asam fulvat dengan konsentrasi

500 ppm lebih tinggi daripada jumlah fosfat yang dapat larut oleh asam fulvat dengan konsentrasi 50-250 ppm tetapi pada rentang waktu reaksi 7 hari tampak bahwa jumlah fosfat yang dapat larut oleh asam fulvat dengan konsentrasi 50-250 ppm meningkat dan menjadi lebih besar atau sama dengan jumlah fosfat yang dapat dilarutkan oleh asam fulvat 500 ppm. Untuk memastikan pengaruh konsentrasi asam fulvat terhadap pelarutan fosfat yang terjerap pada tanah ini, perlu dilakukan analisis statistik dengan uji ANOVA 2-faktor (faktor waktu dan faktor konsentrasi).

Tabel 1. Data jumlah P-tersedia (mg/kg) oleh asam fulvat 50-500 ppm dengan waktu reaksi 1-7 hari. Percobaan dilakukan secara duplo (satu kali pengulangan).

Hari	P-terlarut (mg/kg) oleh asam fulvat				
	50 ppm	100 ppm	150 ppm	250 ppm	500 ppm
1	25.64	22.98	22.98	21.98	28.08
	19.64	21.49	22.08	28.08	27.12
2	28.97	24.49	23.57	24.60	29.63
	23.26	24.18	24.39	28.75	31.41
3	18.63	20.93	20.25	19.29	23.72
	21.92	20.64	22.91	23.22	25.67
4	16.94	19.87	23.82	20.64	24.33
	20.54	17.22	21.23	22.91	23.92
5	22.91	22.61	19.29	18.34	26.41
	20.64	19.96	19.87	21.03	22.71
6	19.87	21.33	21.62	19.68	27.04
	24.54	21.33	24.13	24.33	30.30
7	29.20	27.04	23.62	22.02	27.57
	26.41	31.30	27.79	28.76	23.11

Berdasarkan data percobaan (Tabel 1) diperoleh hasil analisis statistik dengan uji ANOVA 2-faktor (faktor waktu dan faktor konsentrasi) dengan tingkat kepercayaan 95% seperti yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. ANOVA untuk konsentrasi asam fulvat 50-500 ppm

<i>Sumber Variasi</i>	<i>Jumlah Kuadrat</i>	<i>Derajat kebebasan</i>	<i>Rerata jumlah kuadrat</i>	F_{hitung}	F_{tabel}
Waktu	316.0847	6	52.68079	9.159491	2.371781
Konsentrasi asam fulvat	157.7603	4	39.44008	6.857358	2.641465
Interaksi waktu-konsentrasi	138.4737	24	5.769735	1.003171	1.833184
<i>Error dalam grup</i>	201.3024	35	5.751497		
Total	813.6211	69			

Tabel 2 menunjukkan bahwa untuk variabel waktu diperoleh F_{hitung} sebesar 9,16 sedangkan F_{tabel} 2,37. Ini menunjukkan bahwa variasi waktu (1-7 hari) dapat mempengaruhi jumlah P-tersedia secara signifikan.

Hasil uji terhadap faktor variasi konsentrasi asam fulvat menunjukkan hasil bahwa F_{hitung} sebesar 6,86 sedangkan F_{tabel} sebesar 2,64. Ini menunjukkan bahwa variasi konsentrasi asam fulvat 50, 100, 150, 250, dan 500 mg/L dapat mempengaruhi jumlah P-tersedia secara signifikan.

Tabel 2 juga menunjukkan bahwa F_{hitung} faktor interaksi antara variabel waktu dan konsentrasi asam fulvat hanya sebesar 1,00, lebih kecil daripada F_{tabel} (1,83). Ini menunjukkan bahwa tidak ada interaksi yang signifikan antara variabel waktu dan variabel konsentrasi asam fulvat.

Untuk memastikan yang mana di antara variasi konsentrasi asam fulvat tersebut yang memberikan perbedaan yang sangat signifikan dilakukan analisis statistik uji ANOVA lebih lanjut pada variasi konsentrasi

50, 100, 150, dan 250 mg/L. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa untuk variabel waktu diperoleh F_{hitung} sebesar 8,21 sedangkan F_{tabel} 2,44 (Tabel 3). Ini menunjukkan bahwa pada variasi konsentrasi 50, 100, 150, dan 250 ppm, variasi waktu (1-7 hari) juga dapat mempengaruhi jumlah P-tersedia secara signifikan.

Hasil uji terhadap faktor variasi konsentrasi asam fulvat (50, 100, 150, dan 250 500 ppm) menunjukkan hasil bahwa F_{hitung} hanya 0,14 lebih kecil daripada nilai F_{tabel} 2,95. Ini menunjukkan bahwa variasi konsentrasi asam fulvat (50, 100, 150, dan 250 ppm) tidak mempengaruhi jumlah P-tersedia. Dengan demikian, berdasarkan hasil uji statistika ini dan dengan melihat pola kurva pada Gambar 3 dapat disimpulkan bahwa variasi konsentrasi asam fulvat 50 hingga 250 ppm tidak mempengaruhi secara sangat signifikan terhadap kemampuan asam fulvat dalam melarutkan fosfat yang terjerap pada tanah masam, tetapi pada konsentrasi asam fulvat 500 ppm terjadi peningkatan P-terlarut secara sangat signifikan.

Tabel 3. ANOVA untuk konsentrasi asam fulvat 50-250 ppm

<i>Sumber variasi</i>	<i>Jumlah Kuadrat</i>	<i>Derajat kebebasan</i>	<i>Rerata jumlah kuadrat</i>	<i>F_{hitung}</i>	<i>F_{tabel}</i>
Waktu	308.2589	6	51.37649	8.212377	2.445259
Konsentrasi asam fulvat	2.621393	3	0.873798	0.139674	2.946685
Interaksi waktu-konsentrasi	74.12518	18	4.118066	0.65826	1.986785
<i>Error dalam grup</i>	175.1675	28	6.255982		
Total	560.173	55			

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Asam fulvat mampu melarutkan fosfat yang terjerap pada tanah mineral masam.
2. Variasi konsentrasi asam fulvat 50 ppm hingga 250 ppm tidak mempengaruhi kemampuan asam fulvat dalam melarutkan fosfat yang terjerap pada tanah masam, tetapi pada konsentrasi asam fulvat 500 ppm terjadi peningkatan P-terlarut secara signifikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional, yang telah membiayai penelitian ini melalui Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Nomor: 024/SP3/PP/DP2M/II/2006.

DAFTAR PUSTAKA

Balemi, T. dan Negisho, K., 2012, Management of Soil Phosphorus and Plant Adaptation Mechanisms to Phosphorus Stress for Sustainable Crop Production: A Review, *Journal of Soil*

Science and Plant Nutrition, 12(3), 547-561.

Huang, P.M. dan Violante, A., 1997, Pengaruh Asam Organik terhadap Kristalisasi dan Sifat Permukaan Produk Pengendapan Aluminium, dalam: Interaksi Mineral Tanah dengan Bahan Organik dan Mikroba (terjemahan), Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, 242-332.

Hue, N.V., Craddock, G.R., van Noordwijk, M., dan Syekhfani, 1996, Affect of Organic Acids on Aluminium Toxicity in Subsoils, *Soil Sci. Am. J.*, **50**: 28-34.

Ikhsan, J., Laksono, E.W., dan Sunarto, 2008, Memahami Proses Sorpsi Ion Fosfat oleh Goethite dan Montmorillonite, Laporan Hasil Penelitian Fundamental Tahun ke-2, FMIPA/ jurdik Kimia Universitas Negeri Yogyakarta.

Jaenicke, J., Rieley, J.O., Mott, C., Kimman, P., dan Siegert, F., 2008, Determination of the amount of carbon stored in Indonesian peatlands, *Geoderma*, 147, 151-158.

Kusnaedi, 2006, *Mengolah Air Gambut dan Air Kotor Untuk Air Minum*, Penebar Swadaya, Bogor.

Marschner, H., 1986, *Mineral Nutrition in Higher Plants*, Academic Press, Harcourt Brace Javanovich Pub., London.

Palm, C.A., Myers, R.J.K., dan Nandwa, S.M., 1997, Combined Use of Organic and Inorganic Nutrient Sources for Soil Fertility Maintenance and Replenishment, dalam Buresh, R.J. *et al* (Editors), *Replenishing Soil Fertility in Africa*, SSSA Spec. Pub. No. 51, Madison, USA, pp. 193-217.

Ratmini, N.P.S., 2012, Karakteristik dan Pengelolaan Lahan Gambut untuk Pengembangan Pertanian, *Jurnal Lahan Suboptimal*, Vol. 1, No.2: 197-206.

- Salim, A.A., Racmiati, Y., dan Trikamulyana, T., 2005, Pengaruh Pupuk Hayati dan Kompos Serasah Pangkasan Teh terhadap pH tanah, P-total, P-tersedia, retensi-P dan Pertumbuhan Tanaman The belum Menghasilkan pada Tanah Andisols, *Jurnal Penelitian Teh dan Kina*, 8(1-2), 12-21.
- Santoso, U.T., Herdiansyah, Santosa, S.J., dan Siswanta, D., 2005, Fulvic Acid-Sensitized Photoreduction of Cr(VI) on ZnO Suspension, *Indon. J. Environ. Chem. Toxicol.*, 4(1), 24-28.
- Santoso, U.T., Umaningrum, D., Abdullah, dan Rahmah., A.M., 2007, Pengaruh pH dan Konsentrasi CaCl_2 terhadap Kemampuan Tanah Mineral Masam dalam Menjerap Fosfat, *Jurnal Sains dan terapan Kimia*, 1(2), 69-75.
- Sharma, S.B., Sayyed, R.Z., Trivedi, M.H., dan Gobi, T.A., 2013, Phosphate Solubilizing Microbes: Sustainable Approach for Managing Phosphorus Deficiency in Agricultural Soils, *SpringerPlus*, 2(587), 1-14.
- Siradz, S.A., 1999, Interaksi antara Bahan Organik dengan Koloid Besi dan Alumunium dan Pengaruhnya terhadap Jerapan Fosfat pada Mineral-Mineral Tanah, Laporan Penelitian Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian UGM, Yogyakarta.
- Soil Survey Laboratory Staff, 1992, Soil Survey Laboratory Methods Manual, National Soil Survey Center, New York.
- Stevenson, F.J., 1994, Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction, second ed., John Wiley & Sons, New York.
- Suntoro, 2002, Prediksi Pengaruh Aktivitas Asam Organik Hasil Dekomposisi Berbagai Sumber Bahan Organik Terhadap Fe, Al dan Ketersediaan P, *Sains Tanah*, 1(2): 24-32.
- Tan, K.H., 1991, Dasar-dasar Kimia Tanah (terjemahan), Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Tani, M., Kunimoto, A., Kato, T., dan Koike, M., 2010, Effect of Organic Ligands on Phosphate Adsorption and Availability in Andisols of Eastern Hokkaido, Japan, *19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World*, 1 – 6 August 2010, Brisbane, Australia.
- Tarchitzky, J., Chen, Y., dan Banin, A, 1993, Humic Substances and pH Effects on Sodium- and Calcium- Montmorillonite Flocculation and Dispersion, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **57**: 367-372.