

FRAKSI BESI DAN PENGARUHNYA TERHADAP KELARUTAN POSFOR DI LAHAN RAWA

(Iron Fraction And Its Effect On Posforming Sustainability In Rawa Land)

Fahmi, A. ¹⁾

¹⁾Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa
No. HP/Telp. (0511) 4772534 Email fahmi.nbl@gmail.com

Diterima : 18/05/2018

Disetujui : 16/08/2018

ABSTRACT

About 20 million Ha of tidal swampland found in Indonesia, 6.7 million ha of them are acid sulphate soils which associated with peatland. Most of soil in tidal swamp are rich in iron, it potentially toxic to the plant. We critically examine the presence of peat matter as surface layer to iron fraction and the role of ferrous to phosphorus (P) solubility in soil. Iron fractions analyzed in acid sulphate soil, peaty acid sulphate soil, shallow peatland, shallow peatland which all of peat layers were removed and shallow peatland which partially of peat layers were removed. Most of iron fraction in tidal swampland which covered by peat layer is organic-Fe form, the presence of peat layer on surface layer caused no correlation between Fe and P in soil.

Key words : Acid sulphate soil, Iron, Peatland, Phosphorus and Tidal swampland

ABSTRAK

Luas lahan rawa di Indonesia mencapai 20 juta ha, 6,7 juta diantaranya adalah tanah sulfat masam yang sebagian besar lahan tersebut berasosiasi dengan lahan gambut. Tanah rawa biasanya mengandung besi dalam konsentrasi yang tinggi yang berpotensi meracuni tanaman. Review ini disusun untuk mengkaji peranan bahan gambut terhadap dinamika besi di tanah sulfat masam khususnya dari perspektif fraksinya serta peranan ferro terhadap kelarutan posfor (P) di tanah, dengan memperhatikan keberadaan lapisan gambut sebagai lapisan yang sering ditemui berada di atas bahan sulfidik. Lahan gambut tipis, tanah sulfat masam bergambut dan tanah sulfat masam, gambut tipis yang sebagian lapisan gambutnya di hilangkan dan gambut tipis yang seluruh lapisan gambutnya di hilangkan. Sebagian besar besi di lahan pasang surut yang memiliki lapisan gambut di permukaannya berbentuk sebagai besi organik, adanya lapisan gambut pada permukaan tanah menyebabkan tidak terdapat korelasi antara kelarutan besi dan P dalam larutan tanah.

Kata kunci : Besi, Lahan gambut, Lahan rawa pasang surut, Posfor dan Tanah sulfat masam

PENDAHULUAN

Luas lahan rawa di Indonesia mencapai 34,93 juta ha atau 18,28% dari luas total daratan Indonesia. Potensi lahan pasang surut di Indonesia sekitar 20,12 juta hektar, yang terdiri dari 6,72 juta hektar lahan sulfat masam, 10,89 juta hektar lahan gambut, dan 0,44 juta hektar lahan salin (Nugroho *et al.* 1992). Di lahan rawa pasang surut, lahan sulfat masam sering ditemui berasosiasi dengan lahan gambut, dan sebagian besar

lahan gambut di daerah pasang surut memiliki substratum bahan sulfidik yang kaya akan besi.

Besi adalah unsur keempat yang terbanyak sebagai penyusun kerak bumi. Menurut Stucky (2006) mineral Fe dapat terbentuk sebagai oksida, sulfida, karbonat dan sulfat. Spesies Fe di tanah rawa yang sering mengalami fluktuasi redoks dapat berbentuk sebagai gutit (– FeOOH), lepidokrosit (– FeOOH), ferihidrit (Fe₅HO₈4 H₂O), schwertmannit (Fe₁₆ O₁₆ (SO₄)₃(OH)₁₀

10 H₂O), siderit (FeCO₃), trolit (FeS), pirit (FeS₂), strengit (FePO₄) dan vivianit (Fe₃(PO₄)₂) (Reddy dan DeLaune, 2008; Otero *et al.*, 2009). Stabilitas, sifat dan keberadaan dari setiap mineral tersebut sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan seperti Eh, pH, bahan organik, kelembaban/kadar air tanah, mikroorganisme, keberadaan anion serta sifat mineral itu sendiri. Kadar bahan organik yang tinggi di lahan rawa sangat mempengaruhi bentuk mineral Fe di dalam tanah, adanya bahan organik akan mengganggu proses kristalisasi Fe.

Posfor (P) adalah salah satu unsur hara makro esensial bagi tumbuhan, setidaknya terdapat 0,1 % P dalam kerak bumi (Reddy and DeLaune, 2008). Di dalam tanah, P dapat berbentuk organik maupun anorganik. Fraksi P di dalam tanah sangat dipengaruhi oleh pH tanah, fraksi P yang paling banyak di dalam tanah adalah HPO₄ dan H₂PO₄. Rendahnya ketersediaan P merupakan masalah yang umum terjadi pada tanah masam, salah satu penyebab rendahnya ketersediaan P di tanah rawa masam adalah fiksasinya oleh besi. Walaupun demikian adanya sifat geokimia besi yang dipengaruhi oleh kondisi redoks tanah berpotensi meningkatkan ketersediaan P.

Besi adalah salah satu kation logam yang dominan ditemukan di lahan rawa, khususnya di tanah sulfat masam. Selain sebagai unsur mikro essential bagi tanaman, besi berpotensi menjadi unsur beracun bagi tanaman bila dalam konsentrasi yang tinggi. Menurut Doberman dan Fairhurst (2000) tanaman padi dapat mengalami keracunan pada konsentrasi 500mg kg⁻¹, di tanah sulfat masam konsentrasinya dapat mencapai 4500 ppm (Fahmi *et al.*, 2009). Selain itu, keberadaan besi di tanah sulfat masam dapat menyebabkan kekurangan hara P bagi tanaman. Berdasarkan hal tersebut di atas, adalah penting untuk memahami secara lebih mendalam keseimbangan unsur besi di lahan pasang surut khususnya dari perspektif fraksinya serta peranannya terhadap kelarutan P di tanah, dengan memperhatikan keberadaan lapisan gambut sebagai lapisan yang sering ditemui berada di atas bahan sulfidik..

BAHAN DAN METODE

Tulisan ini adalah sebuah review atas beberapa data dari beberapa hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan pada tanah sulfat masam, sulfat masam bergambut, dan lahan gambut. Secara detil data-data tersebut berasal dari penelitian pada lahan gambut tipis (GT) (tebal lapisan gambut 70 cm), tanah sulfat masam bergambut (SMB) (tebal lapisan gambut 40 cm) dan tanah sulfat masam (SM), gambut tipis yang sebagian lapisan gambutnya di hilangkan (GT 0,5) dan gambut tipis yang seluruh lapisan gambutnya di hilangkan (GT 0).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fraksi besi di tanah sulfat masam dan tanah gambut

Besi adalah salah satu logam utama yang berpengaruh terhadap sifat tanah sulfat masam. Reaksi redoks besi berkaitan erat dengan dekomposisi bahan organik. Gambut adalah bahan organik yang tidak mengalami dekomposisi secara sempurna, mengandung senyawa humat seperti asam humat dan asam fulvat. Lapisan gambut memiliki peranan penting terhadap kelarutan besi di lahan gambut, pada kondisi reduksi Fe³⁺ berperan sebagai akseptor elektron dari dekomposisi bahan organik sehingga konsentrasi Fe²⁺ mengalami peningkatan (Reddy *et al.*, 1980). Walaupun demikian, Fe²⁺ dapat mengalami khelatisasi oleh senyawa humat yang terkandung dalam gambut.

Adanya lapisan gambut pada lapisan permukaan tanah sulfat masam menyebabkan sebagian besar besi berbentuk sebagai besi organik seperti yang terdapat dalam tanah SMPB, GT, GT 0 dan GT 0,5 (Tabel 1). Hal tersebut disebabkan rendahnya kandungan bahan organik tanah SM. Menurut Karlsson dan Persson (2010) lebih dari 50 % Fe di lahan gambut dikhelat oleh senyawa humat, khususnya asam humat (Sarzynska and Sokolowska, 2002). Hal ini menunjukkan besarnya peranan lapisan gambut dalam menekan kelarutan Fe di lahan pasang surut

khususnya tanah sulfat masam yang berasosiasi dengan lahan gambut atau lahan gambut dengan substratum bahan sulfidik. Fakta ini dapat dipahami karena gambut merupakan sumber senyawa organik yang berperan besar dalam pembentukan kompleks Fe–senyawa organik, dan hilangnya lapisan gambut berarti hilangnya sumber senyawa organik tersebut. Harvey dan McCormick (2009) berpendapat bahwa lahan gambut memiliki kontribusi penting terhadap perubahan kualitas air dan mineral di lahan gambut dan sekitarnya, sebaliknya, kandungan besi organik yang rendah ditemukan pada tanah sulfat masam (Tabel 1). Sebelumnya Sarzynska and Sokolowska (2002) dan Yonebayashi (2006) melaporkan bahwa pada tanah-tanah yang mengandung bahan organik tinggi seperti tanah mineral bergambut maka sebagian besar besi berbentuk sebagai besi organik. Menurut Sarzynska dan Sokolowska (2002) serta Tan (2003) bahwa besi memiliki afinitas yang lebih tinggi daripada Cu, Zn, Mn, Mg and Caterhadap senyawa humat.

Selain itu, pengaruh lapisan gambut di atas bahan sulfidik dapat dilihat dengan membandingkan data konsentrasi Fe^{2+} yang terukur pada tanah SMPB dan tanah SM dengan tanah GT (Tabel 1), diketahui bahwa konsentrasi Fe^{2+} pada lapisan tanah SMPB dan tanah SM adalah konsisten lebih tinggi dari pada tanah GT. Hal ini mempertegas bahwa adanya bahan gambut pada lapisan tanah menyebabkan sebagian besar besi berbentuk organik, sesuai pernyataan Karlsson dan Persson (2010) dan Ye *et al.* (2009) bahwa siklus, kelarutan dan mobilitas Fe di tanah sangat ditentukan oleh keberadaan bahan organik di tanah tersebut. Masih adanya Fe yang terukur pada tanah sulfat masam yang memiliki lapisan gambut dipermukaannya dengan ketebalan terbatas (< 50 cm) disebabkan karena besarnya suplai Fe dari bahan sulfidik ke larutan tanah sebagai sumber Fe bagi lahan gambut dengan substratum bahan sulfidik (Fahmi *et al.*, 2010).

Konsentrasi Fe^{2+} dalam lapisan teratas tanah SM dan SMB yang lebih tinggi dari pada GT terjadi pada MK (Tabel 1). Kondisi lingkungan kering-basah menyebabkan

sebagian mineral bahan sulfidik teroksidasi pada saat aerob kemudian tereduksi sehingga meningkatkan kelarutan Fe (Reddy dan DeLaune, 2008). Rendahnya konsentrasi Fe^{2+} pada pengamatan T berhubungan dengan terjadinya proses presipitasi Fe^{2+} ke dalam fase padatan atau amorf tanah, sebagaimana yang dinyatakan oleh Hanhart dan Ni (1992) bahwa konsentrasi Fe^{2+} tertinggi pada tanah sulfat masam terjadi pada awal MH kemudian terus menurun sampai pada MK karena mengalami presipitasi. Menurut Shoberdan Sims (2009) dan Kirk (2004) bahwa Fe akan mengalami presipitasi setelah mencapai konsentrasi paling jenuh.

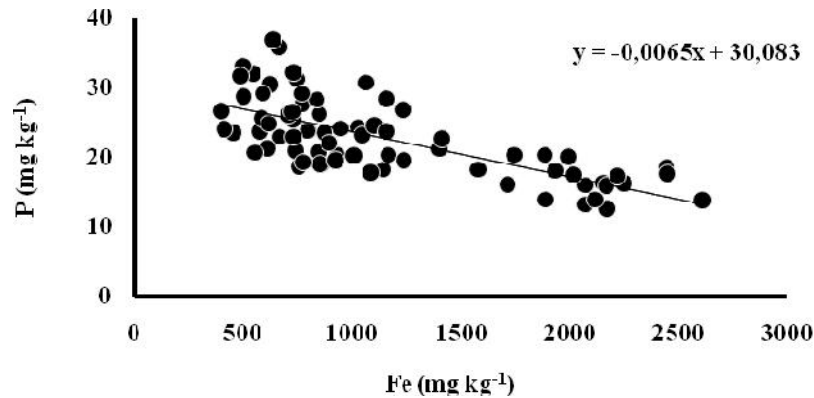
Konsentrasi Fe^{2+} dan Fe-organik pada lahan GT 0,5 dan GT 0 tidak menunjukkan perbedaan dibandingkan GT (Tabel 1). Hal ini diduga disebabkan masih adanya pengaruh dari bahan gambut sebelumnya atau dengan kata lain bahwa penghilangan lapisan gambut di atas bahan sulfidik masih belum berpengaruh terhadap konsentrasi Fe^{2+} dan Fe-organik karena waktu antara penggalian dan pengambilan contoh tanah hanya berjarak dua bulan, selain itu selama waktu tersebut tanah selalu tergenang/jenuh air (data tidak ditunjukkan) sehingga tentunya hal-hal tersebut masih belum besar pengaruhnya terhadap reaksi geokimia maupun aktifitas mikroorganisme secara umum yang dapat mempengaruhi konsentrasi Fe^{2+} dan Fe-organik.

Kondisi yang berbeda dengan hal tersebut di atas terjadi pada tanah SMB dan SM, konsentrasi Fe^{2+} masih cukup tinggi dalam lapisan permukaan kedua tanah tersebut (239 dan 242 $mg\ kg^{-1}$) khususnya pada MH (Tabel 1). Hal ini menunjukkan bahwa menipisnya lapisan gambut secara alamiah sampai pada batasan ketebalan kurang dari 50 cm dapat meningkatkan konsentrasi Fe^{2+} dalam lapisan gambut tersebut. Driessen (1978) menyatakan bahwa percampuran gambut dengan bahan mineral menyebabkan pertambahan konsentrasi Fe dalam tanah gambut. Fakta ini membuktikan bahwa ketebalan gambut merupakan titik kritis fungsi gambut untuk mampu menurunkan kelarutan Fe^{2+} di lahan gambut.

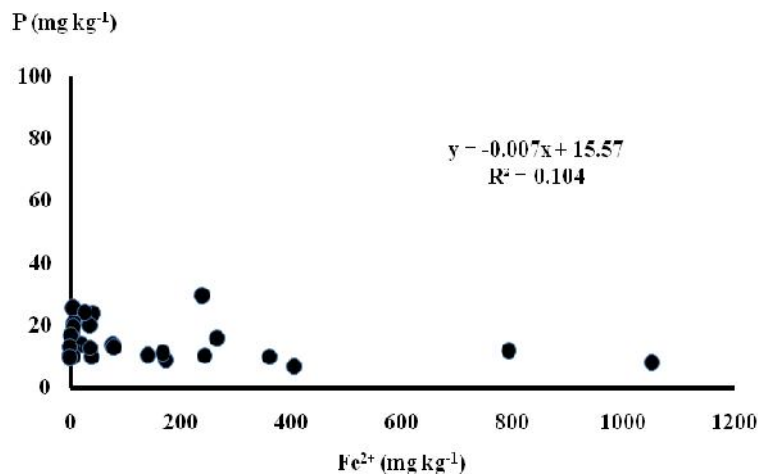
Peran Besi terhadap Kelarutan P

Di lahan rawa, secara umum fluktuasi kondisi hidrologis lahan atau muka air tanah akan berpengaruh terhadap kelarutan P. Dalam kondisi tergenang konsentrasi P akan mengalami peningkatan, begitu pula sebaliknya (Sapek, 2008; Fahmi *et al.*, 2009; Banach *et al.*, 2011; Obour *et al.*, 2011). Peningkatan kelarutan Fe^{2+} di lahan rawa berhubungan dengan reduksi Fe^{3+} , konsentrasi P mengalami penurunan ketika kelarutan Fe meningkat (Gambar 1). Ketika Fe^{3+} -P tereduksi menjadi Fe^{2+} -P terjadi pelepasan P yang terikat (Reddy and DeLaune, 2008). Forsmann and Kjaergaard (2014) menyimpulkan bahwa pelepasan P dari tanah

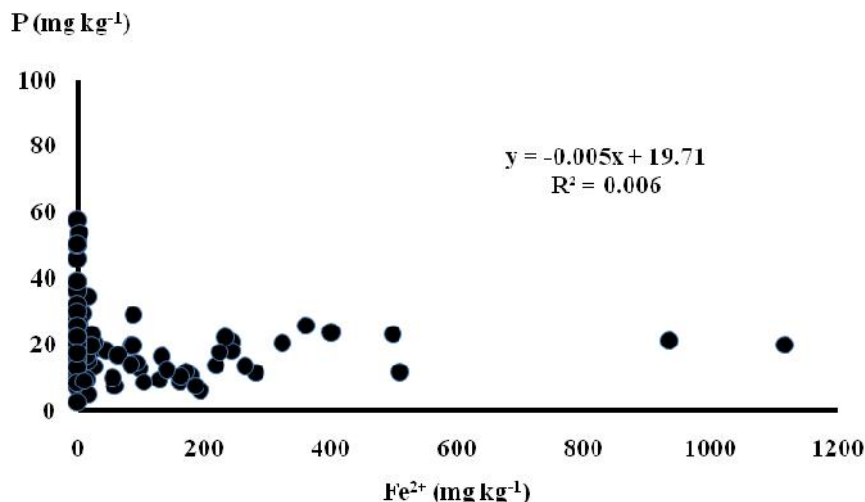
gambut pada kondisi anaerob salah satunya disebabkan oleh pelarutan Fe^{3+} -P. Fraksi Fe yang berperan penting dalam pelarutan P adalah fraksi Fe yang bersifat reaktif (Johnston *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2013). Artinya ketika sebagian besar Fe^{2+} berbentuk kompleks dengan senyawa humat maka peranannya terhadap kelarutan P mengalami penurunan karena reaktivitas Fe-senyawa humat lebih rendah dibandingkan Fe^{2+} (Tan, 2003). Di lain sisi, pada kondisi reduksi situs jerapan P meningkat karena Fe menjerap lebih banyak P tetapi energi ikatannya lebih rendah daripada energi ikatan P pada kondisi oksidatif meskipun dalam jumlah situs jerapan yang lebih sedikit.



Gambar 1. Hubungan antara konsentrasi P dan Fe^{2+} pada tanah sulfat masam (Fahmi *et al.*, 2018).



Gambar 2. Hubungan antara konsentrasi P dan Fe^{2+} pada tanah sulfat masam bergambut (Fahmi *et al.*, 2012).



Gambar 3. Hubungan antara konsentrasi P dan Fe^{2+} pada tanah gambut dengan substratum bahan sulfidik (Fahmi *et al.*, 2018)..

Menurut Jordan *et al.* (2007) pelarutan P yang terjadi di lahan gambut berkaitan dengan tingginya kandungan Fe(III)-oxyhydroxida. Berbeda dengan fakta tersebut, kajian ini membuktikan bahwa tidak terdapat korelasi antara Fe dan P pada tanah gambut (Gambar3). Perbedaan tersebut diduga berhubungan dengan rendahnya kelarutan Fe yang ditemukan pada lapisan gambut dalam kajian ini, sebagian besar besi mungkin mengalami khelatisasi atau membentuk kompleks dengan senyawa humat yang terkandung dalam gambut. Menurut Fussetal. (2011) reduksi Fe^{3+} dibatasi oleh terjadinya pembentukan kompleks antara senyawa organik dan besi, sehingga mengurangi potensi pelepasan P, disisi lain proses fiksasi P oleh senyawa oleh kompleks Fe-humat dapat terus berlangsung dalam kondisi reduktif ataupun oksidatif (Morris and Hesterberg, 2012). Sebelumnya, berdasarkan penelitian yang dilaksanakan di lahan gambut dengan substratum bahan sulfidik, Fahmi *et al.* (2014) melaporkan tidak ditemukan indikasi pelepasan P ke larutan tanah melalui reduksi Fe^{3+} . Kieckbusch dan Schrautzer (2007) juga melaporkan bahwa pembasahan lahan gambut tidak secara otomatis menyebabkan peningkatan kelarutan P, hal ini diperkuat oleh pernyataan Grunthetal. (2008) bahwa pelepasan P yang disebabkan penggenangan tanah organik tidak

dapat diprediksi berdasarkan asumsi yang terjadi di tanah mineral.

KESIMPULAN

Keberadaan lapisan gambut pada permukaan tanah menyebabkan fraksi Fe-organik menjadi fraksi dominan yang terukur pada tanah-tanah di lahan pasang surut yang memiliki lapisan gambut di atasnya, adanya lapisan gambut pada permukaan tanah menyebabkan tidak terdapat korelasi antara kelarutan besi dan P dalam larutan tanah gambut.

DAFTAR PUSTAKA

- Banach AM, LPM Lamers, Z Stepniewska and JGM Roelofs. 2011. Short-term versus long-term effects of summer flooding on floodplain biogeochemistry ; interacting role of soil use and water quality. *Geophysic Res Abstr* 13, EGU2011–7454.
- Dobermann, A. and T. Fairhurst. 2000. Rice ; Nutrient Disorders and Nutrient Management. IRRI. Makati city, The Phillipines. 191 p.

-
- Driessen, P.M. 1978. Peat soils. In :Soil and Rice. IRRI. Los Banos, The Philippines. pp. 763–779.
- Fahmi, A., B. Radjagukguk, and B.H. Purwanto. 2009. Kelarutan fosfat dan ferro pada tanah sulfat masam yang diberi bahan organik jerami padi. *J Tanah Trop.* 14 (2): 119–125.(in Indonesian).
- Fahmi, A., B. Radjagukguk, B.H. Purwanto and E. Hanudin. 2010.The role of peat layers on iron dynamics in peatlands. *J Tanah Trop.* 15 (3): 195–201.
- Fahmi, A. 2012. Saling Tindak Tanah Gambut dan Substratum Bahan Sulfidik Serta Pengaruhnya Terhadap Sifat Kimia Tanah. *Disertasi.* Universiitas Gadjah Mada. 212 p.
- Fahmi, A., B. Radjagukguk, dan B.H. Purwanto. 2014. Interaction of peat soil and sulphidic material substratum : role of peat layer and groundwater level fluctuations on phosphorus concentration. *J Tanah Trop.* 19.(3); 161–169.
- Fahmi, A., M. Alwi dan D. Nursyamsi. 2018. The role of inundation type of tidal swampland on the chemical properties of potential acid sulphate soils under fertilizer and lime application.*J Tanah Trop. In Press*
- Forsmann DM and C Kjaergaard. 2014. Phosphorus release from anaerobic peat soils during convective discharge — Effect of soil Fe:P molar ratio and preferential flow. *Geoderma* 223–225; 21–32.
- Fuss CB, CT Dirscoll, CE Johnson, RJ Petras and TJ Fahey. 2011. Dynamics of oxidized and reduced iron in a nothern hardwood forest. *Biogeochemistry* 104; 103–119.
- Grunth NL, L Asker and B Elberling. 2008. Oxygen depletion and phosphorus release following flooding of a cultivated wetland area in Denmark. *Danish J Geography* 108(2); 17–25.
- Hanhart, K. and D.V. Ni. 1993. Water management of the rice field at Hoa An, Mekong Delta, Vietnam. In: D.L. Dent and M.E.F. Van Mesvoort (Eds.), *Selected Papers of the Ho Chi Minh City Symposium on Acid Sulphate Soils.* ILRI Publ. No. 53. Wageningen, The Netherland. pp. 161–176.
- Johnston, S.G., E.D. Burton, R.T. Bus h, A.F. Keene, L.A. Sullivan, D. Smith, A.E. McElnea, C.R. Ahern, and B. Powell. 2010. Abundance and fractionation of Al, Fe and trace metals following tidal inundation of a tropical acid sulfate soil. *Applied Geochemistry.* 25 ; 323–335.
- Jordan S, S Veltly and J Zeitz. 2007. The influence of degree of peat decomposition on phosphorus binding forms in fens. *Mires and Peat* 2; 1–10.
- Karlsson, T. and P. Persson. 2010. Coordination chemistry and hydrolysis of Fe(III) in a peat humic acid studied by X–ray absorption spectroscopy. *Geochimica Cosmochimica Acta.* 74; 30–40.
- Kieckbusch JJ and J Schrautzer. 2007. Nitrogen and phosphorus dynamics of a re-wettedshallow-flooded peatland. *Sci Total Environ* 380; 3–12.
- Kirk, G. 2004. The Biogeochemistry of Submerged Soils. John Willey and Sons. Chicester, England. 291 p.
- Loppert, R.L. and W.I. Inskeep. 1996. Iron. In : D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner. (Eds.), *Methods of Soil Analysis*, part 3, Chemical Methods. Number 5, Soil Science Society of America Book Series Publisher. Madison, Wisconsin USA. pp. 639–664.
- Morris AJ and DL Hesterberg. 2012. Iron(III) coordination and phosphate sorption in peat reacted with ferric or ferrous iron. *Soil Sc Soc Am J* 76; 101–109.
- Nugroho, K. Alkasuma, Paidi, W. Wahdini, Abdurachman, H. Suhardjo, dan I.P.G. Widjaja Adhi. 1992. Peta areal potensial untuk pengembangan pertanian lahan rawa pasang surut,

- rawa dan pantai. Proyek Penelitian Sumber Daya Lahan.
- Obour AK, ML Silveira, JMB VLE Sollenberger, GA O'Connor. 2011. Fluctuating water table effect on phosphorus release and availability from a Florida Spodosol. *Nut Cycl Agroecosystem* 91; 207–217
- Otero, X.L., T.O. Ferreira, M.A. Huerta–Díaz, C.S.M. Partiti, V. Souza Jr., P. Vidal–Torrado and F. Macías. 2009. Geochemistry of iron and manganese in soils and sediments of a mangrove system, Island of Pai Matos (Cananea — SP, Brazil). *Geoderma*. 148; 318–335.
- Reddy, K.R., P.S.C. Rao dan W.H. Patrick Jr. 1980. Factors influencing oxygen consumption rates in flooded soils. *Soil Science Society of America Journal*. 44 ; 741 – 744.
- Reddy, K.R. and R.D. DeLaune. 2008. *The Biogeochemistry of Wetlands; Science and applications*. CRC Press. New York, USA. 779 p.
- Sapek A. 2008. Phosphate and ammonium concentrations in groundwater from peat soils in relation to the water table. *Polish J Soil Sc* 41; 139–148.
- Sarzynska DM and Z Sokolowska. 2002. Investigation of iron status in terric histosols. *IntAgrophys* 16: 133–137.
- Shober A.L. and J.T. Sims. 2009. Evaluating phosphorus release from biosolids and manure–amended soils. *Journal Environmental Quality*. 38; 309–318.
- Stucky, J.W. 2006. Properties and behaviour of iron in clay minerals. In : F. Bergaya, B.K.G. Theng and G. Lagaly. 2006. *Hand Book of Clay Science*. Development in clay science vol. 1. Elsevier. 1224 p.
- TanKH. 2003. *Humic Matter in the Soil and the Environment ; Principles and controversies*. Marcel Dekker, Inc. New York. USA. 359 p.
- Wang, X., F. Liu, W. Tan, W. Li, X. Feng, and D. L. Sparks. 2013. Characteristics of phosphate adsorption–desorption onto ferrihydrite: comparison with well–crystalline fe (hydr)oxides. *Soil Science*. 178 (1); 1–11.
- Ye, Y., C.V olker, and D.A. Wolf–Gladrow. 2009. A model of Fe speciation and biogeochemistry at the Tropical Eastern North Atlantic Time–Series Observatory site. *Biogeosciences*, 6; 2041–2061.
- Yonebayashi K. 2006. Studies and sustainable land use and soil ecosystems in tropical peat land. *Tropics* 15 (3): 313–320.