

Dinamika Besi pada Tanah Sulfat Masam yang Ditanami Padi

Dynamics of Iron in Acid Sulphate Soils Cultivated with Rice

¹Ani Susilawati dan Arifin Fahmi

¹Peneliti Badan Litbang Pertanian di Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa, Jl. Kebun Karet, Loktabat Utara, Banjarbaru 70712, e-mail: ani.nbl@gmail.com; fahmi.nbl@gmail.com

Diterima 27 Juni 2013; Disetujui Dimuat 12 November 2013

Abstrak. Tanah sulfat masam mempunyai potensi dan berpeluang besar bagi pengembangan usaha tani padi. Sebagian besar tanah sulfat masam terletak pada daerah rawa yang mendapat pengaruh langsung ataupun tidak langsung dari pasang surutnya air laut sehingga kondisi basah dan kering tanah dapat menyebabkan perubahan sifat kimia tanah seperti kondisi redoks tanah, konsentrasi besi (Fe) dan pH tanah serta terakumulasinya asam-asam organik. Aktivitas budidaya padi sawah menunjukkan suatu pola dinamika Fe yang berubah-ubah sebagai akibat dari interaksi faktor-faktor lingkungan (pH tanah, kondisi redoks, jenis mineral, bahan organik) dan mikroorganisme tanah.

Kata kunci : Tanah sulfat masam / Besi / Padi

Abstract. Acid sulphate soil has a potential and great opportunity for the development of rice farming. Most acid sulphate soils are located in swampy areas that receive direct or indirect influence of the flow of sea water, so that the wetting and drying soil condition can cause chemical changes in soil properties such as soil redox conditions, the iron (Fe) concentration, pH and the accumulation of organic acids. Rice farming practice showed a changing pattern of Fe dynamics as a result of the interaction between environmental factors (soil pH, redox conditions, types of minerals, organic matter), and soil microorganisms.

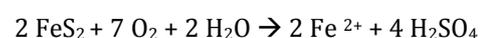
Keywords : Acid sulphate soil / Iron / Rice

Luas tanah sulfat masam di Indonesia berkisar 6,7 juta ha dan luasan ini akan semakin bertambah karena hilangnya lapisan gambut yang berada di lapisan atas tanah sulfat masam (Noor, 2004). Tanah sulfat masam biasanya dijumpai pada daerah dataran rendah dengan topografi umumnya datar dan terletak pada daerah sekitar pantai atau sungai-sungai besar dan mendapat pengaruh dari pasang-surutnya air laut/sungai, sehingga dalam suatu periodik waktu tertentu tanah sulfat masam dapat mengalami penggenangan dan agak kering. Kondisi yang sangat masam dan lingkungan yang sering tergenang menyebabkan tanah sulfat masam memiliki tingkat kesuburan yang rendah. Beberapa hal yang menyebabkan tanah sulfat masam tidak subur adalah rendahnya kandungan unsur hara dan tingginya kandungan unsur yang dapat bersifat meracuni bagi tanaman. Tanaman budidaya sering mengalami keracunan Fe^{2+} , asam-asam organik dan H_2S (Shamshuddin *et al.* 2004).

Besi (Fe) adalah unsur keempat yang terbanyak ditemukan di bumi dan unsur yang terlibat dalam reaksi reduksi – oksidasi (redoks) di tanah. Fe dapat terbentuk

sebagai oksida, sulfida, karbonat dan sulfat (Stucky 2006). Fe dapat terlarut melalui reaksi protolisis atau reduksi karena potensial redoks yang rendah (Schwertmann and Taylor 1989). Fe di tanah pada prinsipnya berada sebagai unsur yang berada dalam dua kondisi bilangan oksidasi yaitu Ferri (Fe^{3+}) dan sebagai Ferro (Fe^{2+}), hal ini sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan (Kyuma 2004).

Pirit (FeS_2) yang banyak terkandung di tanah sulfat masam bersifat stabil jika berada dalam kondisi reduktif, tetapi jika tanah sulfat masam dikeringkan/didrainase maka pirit akan mengalami oksidasi sehingga menyebabkan terbentuknya senyawa H_2SO_4 yang dapat meningkatkan kemasaman tanah, pada kondisi ini pH tanah dapat mencapai kurang dari 3,5 ($\text{pH} < 3,5$). Berikut adalah persamaan reaksi yang menggambarkan terjadinya oksidasi pirit dan menyebabkan pemasaman tanah (Konsten *et al.* 1994) :



Makalah ini memaparkan pola dinamika Fe yang berubah-ubah di lahan sulfat masam sebagai akibat dari aktivitas budidaya padi sawah

KARAKTERISTIK TANAH SULFAT MASAM

Pertama kali tanah sulfat masam dikenal dengan sebutan *cat clay* yang diambil dari kata *katteklei* (bahasa Belanda), yang diartikan sebagai *lempung* yang berwarna seperti pada bulu kucing, yaitu warna kelabu dengan bercak kuning pucat (jerami). Bercak kuning ini merupakan senyawa hasil (produk) oksidasi pirit yang sering disebut *jarosit* (Sarwani *et al.* 2006). Istilah tanah sulfat masam sendiri digunakan karena berkaitan dengan adanya bahan sulfida (firit) dalam tanah ini yang teroksidasi menghasilkan asam sulfat sehingga menyebabkan tanah menjadi masam sampai sangat masam (pH 2,0 – 3,0).

Tanah sulfat masam merupakan endapan marin yang dapat dicirikan oleh salah satu atau beberapa hal sebagai berikut (Noor 2004):

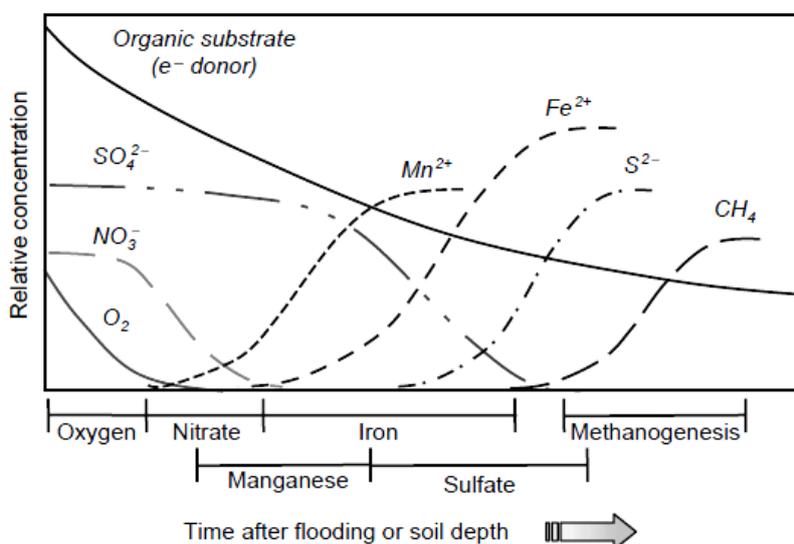
1. Mengandung bahan sulfidik (pirit)
2. Memiliki horizon sulfurik
3. Terdapat bercak jarosit
4. Mengandung bahan penetral berupa karbonat atau basa tukar lainnya.

Tanah sulfat masam dibagi menjadi tiga jenis yaitu *Thionic Fluvisols*, *Thionic Gleysols*, dan *Thionic Histosols*. Istilah *fluvi* (*fluviatil*) menunjukkan arti sebagai hasil endapan (marin), *gley* menunjukkan kadar

lempung yang tinggi, sedang *histo* menunjukkan adanya lapisan gambut di atas permukaan tanah (FAO-UNESCO 1994).

KONDISI REDOKS TANAH SULFAT MASAM

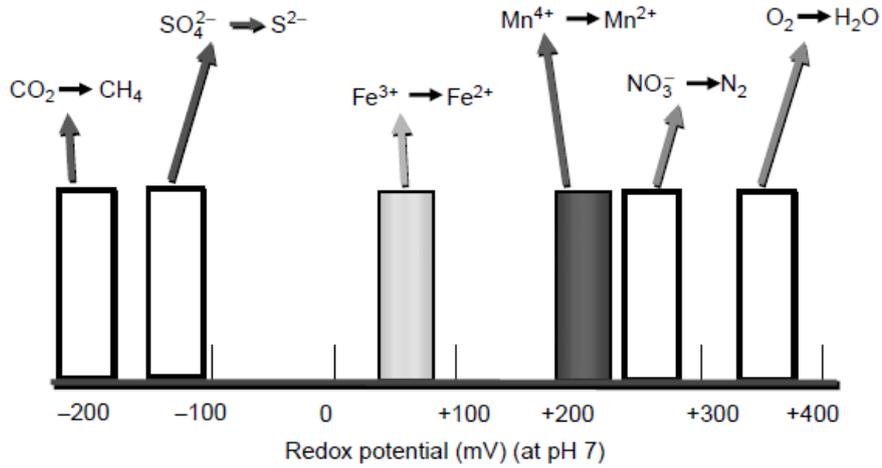
Kondisi topografi tanah sulfat masam yang berada di dataran rendah menyebabkan tanah sulfat masam mengalami periode fluktuatif penggenangan secara langsung ataupun tidak langsung. Selain topografi, curah hujan yang berlebih serta luapan pasang secara berkala menjadikan tanah sulfat masam mengalami goncahan. Kondisi ini mengakibatkan kondisi redoks tanah yang berubah-ubah sesuai kondisi permukaan air tanah. Tanah cenderung berada dalam kondisi reduktif pada kondisi jenuh dan begitu pula sebaliknya jika tanah dalam kondisi relatif kering maka tanah akan berada dalam kondisi oksidatif. Secara alamiah kondisi ini akan berpengaruh sangat besar terhadap unsur-unsur redoksimorfik terutama Fe. Pada kondisi tergenang jumlah oksigen menjadi sangat terbatas, laju difusi oksigen 10.000 kali lebih lambat daripada kondisi aerob sehingga digunakan unsur inorganik lainnya sebagai akseptor elektron oleh mikroorganisme untuk mempertahankan kehidupannya (Gambar 1 dan 2).



Sumber: Reddy and Delaune (2008)

Gambar 1. Relatif laju reduksi beberapa unsur sebagai akseptor elektron dalam fungsi waktu penggenangan

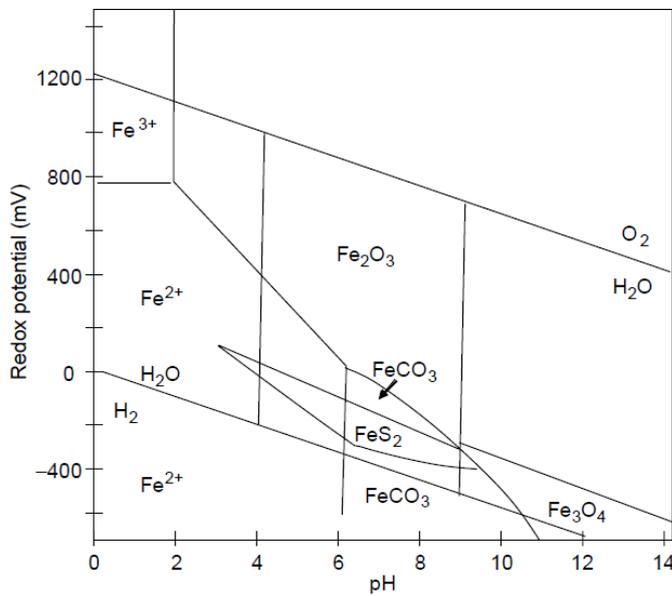
Figure 1. Relative rate of reduction of several elements as electron acceptor in a time function of inundation



Sumber: Patrick and Jungsujinda (1992); Reddy and DeLaune (2008)

Gambar 2. Batasan potensial redoks beberapa unsur akseptor elektron pada pH 7

Figure 2. Potential limitation of redox of several elements of electron acceptor is at pH 7



Reddy and De Laune (2008)

Gambar 3. Diagram stabilitas spesies Fe pada beberapa nilai pH dan Eh

Figure 3. The stability diagram of Fe species at several values of pH and Eh

MOBILITAS DAN REAKTIVITAS Fe

Fe pada tanah sulfat masam biasanya berbentuk terlarut, dapat tukar, dapat direduksi dan residual (Reddy and De Laune 2008). Keberadaan/spesies Fe di tanah sulfat masam sangat tergantung pada kondisi pH

dan redoks tanah. Perubahan pH atau redoks tanah akan cenderung merubah spesies Fe yang aktif di larutan tanah. Secara teoritis dalam Gambar 3, Reddy dan DeLaune (2008) menunjukkan diagram stabilitas Fe akibat pengaruh Eh dan pH.

Berdasarkan Gambar 3, diketahui bahwa pada pH < 2,0 dan Eh > 800 mV maka Fe yang aktif adalah Fe³⁺, penurunan nilai Eh pada pH yang sama misalnya pada kisaran 0 – 800 maka spesies Fe yang aktif adalah Fe²⁺ (Kolling *et al.* 1999; Reddy and DeLaune 2008) Walaupun teori ini disusun pada kondisi yang sangat terbatas tetapi informasi ini kiranya dapat membantu untuk memahami sifat Fe yang diduga aktif seperti mobilitasnya, konsentrasinya dan reaktivitasnya.

Pada tanah tergenang, spesies Fe yang paling aktif di larutan tanah adalah Fe²⁺. Fe²⁺ yang terlarut dapat mendesak basa tukar lainnya sehingga menjenuhi permukaan kompleks pertukaran selain itu Fe²⁺ dapat hilang dari larutan tanah melalui beberapa cara (Breemen and Buurman 2002) :

- Pengendapan
- Terjerap pada permukaan *clay* atau Fe³⁺ oksida
- Teroksidasi menjadi Fe³⁺
- Terbawa bersama air drainase

PENGARUH KONDISI REDUKSI-OKSIDASI TERHADAP KELARUTAN BESI

Sifat kimia tanah yang sering mengalami penggenangan seperti tanah sulfat masam sangat tergantung pada kondisi reduksi dan oksidasinya. Kondisi reduksi-oksidasi lahan adalah bentuk perubahan kondisi sifat biokimia tanah yang terjadi akibat fluktuasi kandungan oksigen dalam tanah. Kondisi reduksi terjadi ketika tanah tergenang/jenuh air sehingga konsentrasi oksigen dan laju difusi oksigen menjadi sangat rendah, laju difusi oksigen pada kondisi tergenang dapat mencapai 10.000 kali lebih lambat daripada kondisi oksidatif. Pada kondisi reduktif mikroorganisme menjadikan ion seperti NO₃⁻, MnO₂⁻, Fe₂O₃, SO₄²⁻ dan CO₂ sebagai akseptor elektron.

Pada kondisi reduksi terjadi perubahan Fe³⁺ menjadi Fe²⁺, secara berurutan reaksi reduksi yang terjadi disajikan pada Tabel 1.

Pada saat penggenangan oksigen dapat hilang pada potensial redoks sekitar 0,814 sampai 0,360 V, setelah ketersediaan oksigen menjadi sangat rendah maka NO₃⁻ dan MnO₂ direduksi, selanjutnya Fe³⁺ direduksi menjadi Fe²⁺ pada kisaran 0,100 sampai dengan -0,185 V, urutan reaksi redoks ini menunjukkan bahwa unsur-unsur yang kelarutannya dipengaruhi kondisi redoks akan bersifat dominan pada nilai redoks sesuai urutan tersebut sehingga segala bentuk ikatan yang terjadi antara ligand dengan ion logam pada kisaran reduksi 0,100 sampai dengan 0,185 V akan didominasi ikatan antara ligand dan Fe.

Kelarutan berbagai spesies besi dalam tanah, selain ditentukan oleh pH tanah juga ditentukan oleh intensitas redoks tanah. Berdasarkan Gambar 4 diketahui bahwa ion Fe³⁺ dan ion Fe²⁺ stabil pada kisaran pH dan nilai redox yang berbeda, artinya kelarutan setiap spesies besi di tanah ditentukan oleh minimal dua faktor yaitu pH tanah dan kondisi redoks tanah. Ditunjukkan oleh Kolling *et al* (1999) dan Bohn *et al* (2001) bahwa stabilitas spesies besi yang aktif dalam larutan sangat dipengaruhi oleh intensitas redoks tanah, sehingga jika terjadi kompleks antara besi dan ligand organik pada pH sekitar 3,5 dengan nilai redoks sekitar 0,1 – 0,5 V maka secara teoritis dapat dikatakan bahwa ligand tersebut berikatan dengan Fe²⁺.

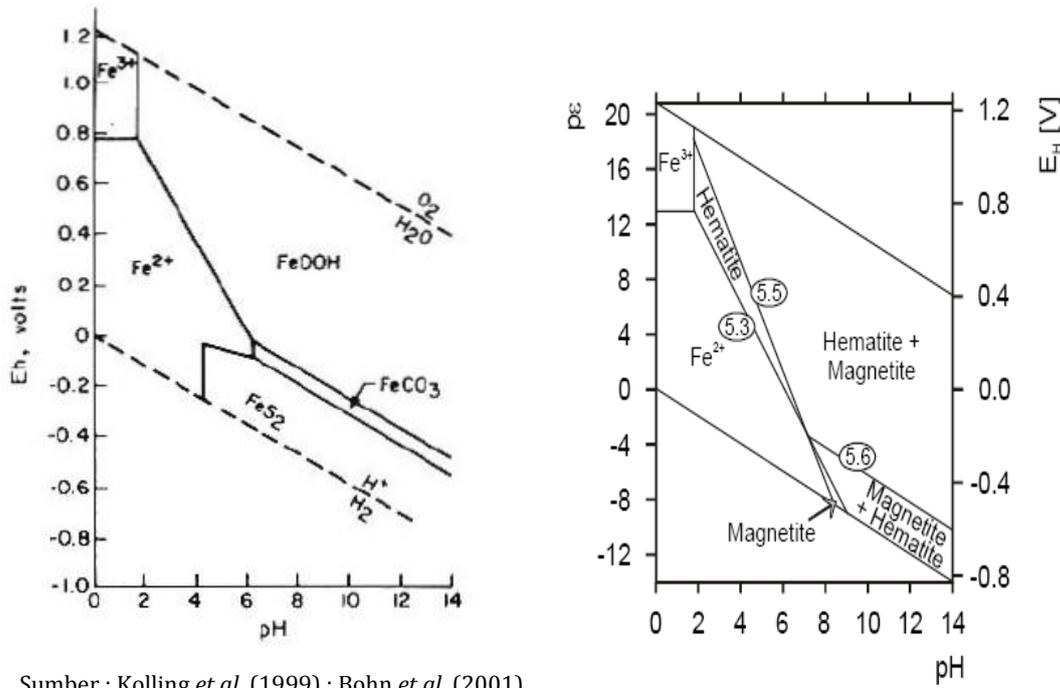
PENGARUH BUDIDAYA TERHADAP KELARUTAN BESI

Pemanfaatan tanah sulfat masam di negara-negara Asia Tenggara, termasuk Indonesia umumnya untuk tanaman padi. Pembukaan tanah sulfat masam yang didukung oleh program transmigrasi di Indonesia

Tabel 1. Urutan reaksi reduksi beberapa unsur pada tanah tergenang
Table 1. The order of the elements in the reduction reaction of some waterlogged soil

Reaksi	Potensial redoks (V)
O ₂ + 4 H ⁺ + 4 e ⁻ = 2 H ₂ O	0,814 ^a 0,360 ^b
2 NO ₃ ⁻ + 12 H ⁺ + 10 e ⁻ = N ₂ + 6 H ₂ O	0,741 ^a 0,240 ^b
MnO ₂ + 4 H ⁺ + 2 e ⁻ = Mn ²⁺ + 2 H ₂ O	0,401 ^a 0,190 ^b
Fe(OH) ₃ + 3 H ⁺ + e ⁻ = Fe ²⁺ + 3 H ₂ O	-0,185 ^a 0,100 ^b
SO ₄ ²⁻ + 10 H ⁺ + 8e ⁻ = H ₂ S + 4 H ₂ O	-0,214 ^a -0,180 ^b
CO ₂ + 8 H ⁺ + 8 e ⁻ = CH ₄ + 2 H ₂ O	-0,244 ^a

Keterangan : a = Ponnamperuma, b = Patrick dan Jugsujinda



Sumber : Kolling *et al.* (1999) ; Bohn *et al.* (2001)

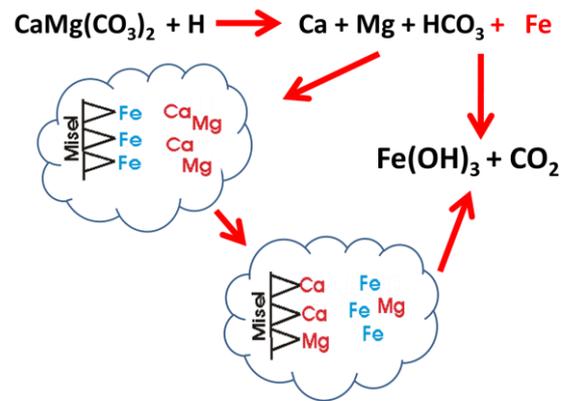
Gambar 4. Diagram stabilitas spesies besi pada beberapa nilai pH dan Eh

Figure 4. The Stability diagram of iron species at several values of pH and Eh

untuk peningkatan produksi beras nasional sudah dimulai sejak tahun 1969-1993.

Teknologi budidaya pertanian yang diterapkan setiap daerah berbeda-beda sesuai dengan kondisi sosial budaya dan ketersediaan teknologi pada daerah tersebut. Berikut akan diungkapkan pengaruh budidaya padi sawah terhadap dinamika Fe.

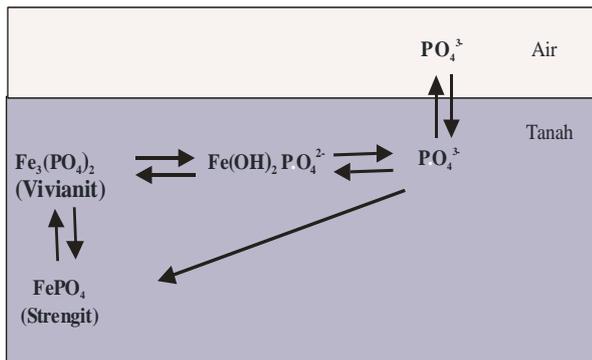
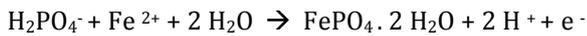
Pengapuran. Pengapuran di tanah sulfat masam diperlukan untuk memperbaiki lingkungan tumbuh tanaman, secara khusus tidak ditujukan untuk meningkatkan pH tanah walaupun pH tanah sulfat masam tergolong sangat masam. Jika pengapuran ditujukan untuk meningkatkan pH tanah maka diperlukan sekitar 16-20 t ha⁻¹ kapur untuk menetralisasi kemasaman akibat pirit dan jika ditujukan untuk menetralisasi kandungan pirit secara total maka diperlukan kapur lebih dari 400 t ha⁻¹ (Maas 2003). Dent (1986) menyarankan pemberian kapur pada tanah sulfat masam sekitar 4-6 t ha⁻¹. Bisa dipahami bahwa pengapuran yang diberikan dalam dosis anjuran ini tidak akan banyak mempengaruhi konsentrasi Fe di tanah. Pengapuran lebih banyak pengaruhnya terhadap tanaman melalui ketersediaan hara ikutan pada jenis kapur yang diberikan karena kapur yang digunakan mengandung bahan ikutan seperti Mg dan P serta mengurangi dampak negatif dari potensi meracuni aluminium (Gambar 5).



Gambar 5. Reaksi kapur di dalam tanah sulfat masam

Figure 5. Liming reaction in acid sulphate soils

Pemupukan. Pemupukan ditujukan untuk memenuhi kebutuhan tanaman terhadap unsur hara. Kebutuhan hara yang tercukupi dapat mencegah terjadinya keracunan Fe pada tanaman padi dan dapat meningkatkan hasil gabah (Sahrawat *et al.* 2001; WARDA 2002). Pemupukan pada tanah sulfat masam akan berpengaruh terhadap konsentrasi Fe dalam tanah. Reddy dan DeLaune (2008) menunjukkan reaksi yang terjadi antara Fe²⁺ dengan H₂PO₄ yang berasal dari pupuk P. Selain meningkatkan ketersediaan P, pemupukan P dapat pula mendorong terjadinya pengendapan Fe dimana ion PO₄³⁻ bereaksi dengan Fe³⁺ membentuk strengit yang sukar larut.



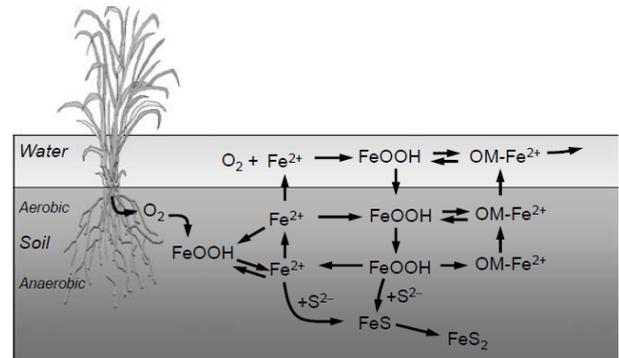
Gambar 6. Interaksi antara Fe dan fosfat di sulfat masam

Figure 6. The interaction between Fe and phosphorus in acid sulphate

Pertanaman. Adanya tanaman/tumbuhan di tanah sulfat masam berperan penting pada kondisi biogeokimia Fe dalam tanah. Dalam beberapa fase pertumbuhannya tanaman padi memerlukan kondisi yang tergenang tetapi hal ini mendorong terjadinya peningkatan konsentrasi Fe^{2+} . Dalam merespon kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan tersebut, tanaman padi mengoksidasi daerah sekitar perakarannya sehingga sejumlah Fe^{2+} oksidasi menjadi Fe^{3+} . Tanaman padi yang mempunyai kemampuan lebih baik dalam mempengaruhi kondisi redoks disekitar perakarannya akan lebih toleran terhadap keracunan Fe^{2+} (Nozoe *et al.*, 2004; Majerus *et al.*, 2007). Konsentrasi Fe^{2+} yang tinggi di larutan tanah direspon oleh akar tanaman dengan mengeluarkan O_2 sehingga terjadi oksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} (Gambar 7), selanjutnya Fe^{3+} yang terbentuk dapat berbentuk FeOOH dan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang dapat pula mengendap di permukaan akar (Chen *et al.* 1980; Wang and Peverly 1999). Perbedaan konsentrasi Fe^{2+} di sekitar perakaran padi juga dapat disebabkan oleh perbedaan varietas dan umur tanaman dimana tanaman yang lebih toleran dan berumur lebih tua cenderung memiliki kemampuan oksidasi yang lebih baik sehingga konsentrasi Fe^{2+} di sekitar perakarannya lebih rendah.

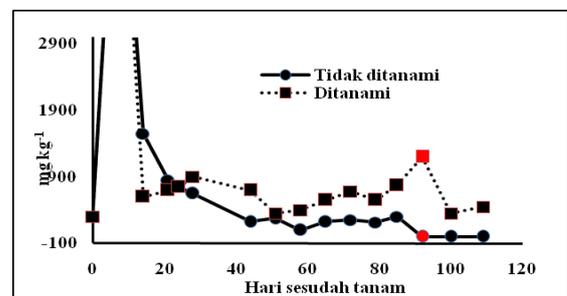
Walaupun berbeda dengan hasil penelitian pada umumnya, Prade dan Ottow (1986) menunjukkan pengaruh pertanaman padi pada konsentrasi Fe^{2+} . (Gambar 8). Pada fase pembungaan konsentrasi Fe^{2+} pada tanah yang ditanami lebih tinggi daripada tanah tanpa tanaman. Terjadinya peningkatan konsentrasi

Fe^{2+} pada fase pembungaan (titik merah) disebabkan terjadinya peningkatan reduksi Fe dan keberadaan sisa akar/eksudat dalam bentuk karbohidrat merangsang peningkatan aktivitas mikroorganisme pereduksi.



Gambar 7. Peranan tanaman pada kondisi biogeokimia Fe di tanah sulfat masam

Figure 7. The role of plants in the biogeochemical conditions of Fe in acid sulphate soil



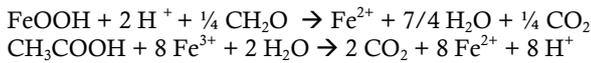
Sumber : Prade dan Ottow (1986)

Gambar 8. Dinamika konsentrasi Fe di tanah pada tanah yang ditanam padi dan tanah yang tidak ditanam padi

Figure 8. The dynamics of Fe concentration in the soil where rice is planted and rice is not planted

Bahan organik. Untuk menciptakan kondisi pertanian yang optimum maka dalam budidaya padi di tanah sulfat masam petani sering mengaplikasikan amelioran berupa bahan organik yang berasal dari jerami padi ataupun tumbuhan lainnya yang terdapat disekitar lahan pertanian. Bahan organik memiliki peranan yang sangat nyata dalam mempengaruhi konsentrasi Fe (Gao *et al.* 2004; Duckworth *et al.* 2009). Bahan organik dapat meningkatkan konsentrasi Fe^{2+} ataupun menurunkan konsentrasi Fe^{2+} dalam tanah dan hal ini sangat tergantung pada kondisi bahan organik tersebut. Pemberian bahan organik yang masih relatif

mentah cenderung meningkatkan konsentrasi Fe^{2+} karena mendorong terjadinya reduksi Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} sebagaimana yang diilustrasikan dalam reaksi berikut (Breemen and Buurman 2002; Kyuma 2004) :



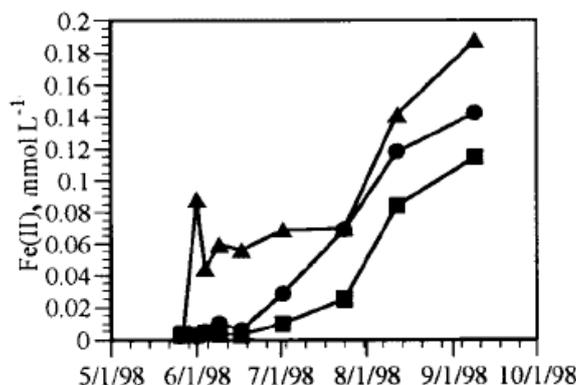
Sebaliknya bahan organik dalam kondisi yang relatif telah mengalami perombakan lebih lanjut relatif lebih menyebabkan penurunan konsentrasi Fe^{2+} , hal ini terjadi karena proses kelatisasi yang lebih dominan dibandingkan proses reduksi oleh bahan tersebut terhadap Fe. Kualitas maupun kuantitas bahan organik di tanah juga cukup menentukan kelarutan Fe di larutan tanah. Menurut Breemen dan Buurman (2002) bahwa bahan organik yang banyak mengandung bahan yang mudah termetabolis akan meningkatkan laju proses reduksi.

Selain berpengaruh secara langsung, bahan organik juga berpengaruh secara tidak langsung terhadap konsentrasi Fe dalam tanah melalui perantara tumbuhan. Keberadaan asam organik yang masih mentah cenderung menyebabkan tanaman mengalami keracunan asam-asam organik sehingga mempengaruhi kemampuan tanaman tersebut dalam mengoksidasi Fe disekitar perakarannya.

Pengelolaan air. Pengelolaan air memiliki peranan yang kunci dalam keberhasilan pertanian di tanah sulfat masam (Dent, 1986; Kyuma, 2004). Teknologi budidaya yang paling umum dan sederhana dilakukan adalah menggenangi tanah sesuai keperluan dan syarat tumbuhnya padi. Penggenangan tanah cenderung menjadikan lingkungan pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik seperti ; peningkatan pH, KPK dan ketersediaan hara.

Peningkatan pH akan menyebabkan perubahan kelarutan Fe yang aktif di larutan tanah, dan pada pH yang mendekati netral akibat penggenangan akan cenderung menyebabkan Fe mengendap. Penggenangan juga menyebabkan peningkatan Fe dan unsur hara serta KPK tanah. Peningkatan KPK disebabkan meningkatnya pH tanah sedangkan peningkatan hara tersedia khususnya disebabkan oleh terjadinya pertukaran antara hara seperti Na, K, Ca dan Mg oleh Fe yang konsentrasinya meningkat di larutan tanah (Reddy and DeLaune 2008).

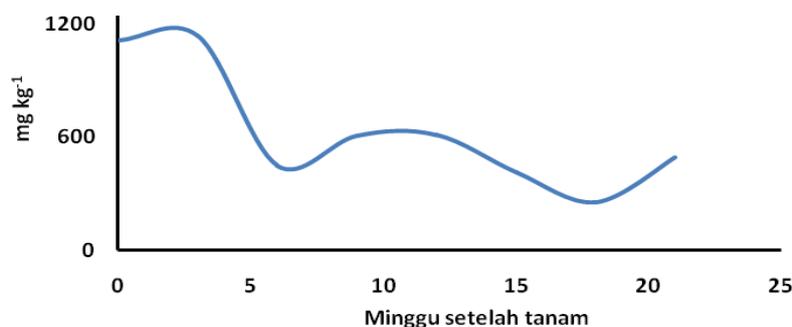
Hasil penelitian Gao *et al* (2002) menunjukkan bahwa penggenangan sawah secara terus menerus pada pola budidaya sederhana akan mengakibatkan peningkatan konsentrasi Fe^{2+} sampai pada pengamatan 5 bulan (Gambar 9) sebaliknya pada budidaya padi dengan tata air satu arah diketahui bahwa dinamika konsentrasi Fe^{2+} hanya tinggi pada awal penggenangan dan secara berangsur turun (Gambar 10). Perbedaan dua pola dinamika konsentrasi Fe^{2+} ini diduga berhubungan dengan pola penggenangan. Pada pola budidaya padi secara sederhana dilakukan penggenangan secara terus menerus akibatnya reduksi Fe^{3+} akan terjadi secara maksimum. Hasil penelitian Ponnampurna (1984) didapatkan bahwa setelah beberapa lama penggenangan, konsentrasi Fe terus meningkat dan pada suatu titik klimaks akan terjadi penurunan konsentrasi Fe walaupun tanah masih digenangi, penurunan konsentrasi Fe setelah mencapai titik tertinggi disebabkan antara lain karena berkurangnya ketersediaan Fe^{3+} yang direduksi dan bahan organik sebagai sumber elektron. Sedangkan pada budidaya padi dengan tata air maka penggenangan yang dilakukan menyesuaikan kondisi



Sumber : Gao *et al.* (2002)

Gambar 9. Dinamika konsentrasi Fe^{2+} pada sawah yang digenangi selama 21 minggu

Figure 9. The dynamics of Fe^{2+} concentration in flooded rice fields for 21 weeks



Sumber : Jumberi *et al.* (2007)

Gambar 10. Dinamika konsentrasi Fe²⁺ pada sawah sistem tata air satu arah selama 21 minggu pengamatan sesudah tanam

Figure 10. The dynamics of Fe²⁺ concentration in paddy water system in one direction during 21 weeks of observation after planting

ketersediaan air dengan memperhatikan intensitas dan kualitas air (pada pola ini lahan digenangi selama dua minggu dan kemudian air didrainase untuk selanjutnya diganti dengan air yang baru) kegiatan ini cenderung menyebabkan konsentrasi Fe yang lebih baik untuk pertumbuhan tanaman. Didapatkan dari pola ini bahwa konsentrasi Fe hanya tinggi pada awal pertanaman. Pola dinamika konsentrasi Fe pada sistem tata air diduga mampu mengoptimalkan peran air dalam menunjang pertumbuhan tanaman, dengan penggenangan selama 2 minggu maka Fe²⁺ sudah relatif tereduksi dan kemudian Fe²⁺ tersebut dikeluarkan dari areal/petakan sawah bersamaan dengan air buangan (drainase) sehingga konsentrasi Fe²⁺ di tanah tidak terus menerus tinggi. Air dengan kualitas yang baik sangat efektif mencuci (*flushing*) Fe dari larutan tanah (Breemen and Buurman 2002). Penggenangan lahan selama 7-10 hari kemudian mendrainnya dan hal ini untuk mensuplai O₂.

KESIMPULAN

Aktivitas budidaya padi sawah di lahan sulfat masam akan menyebabkan perubahan pola dinamika Fe hal ini dipengaruhi oleh banyak faktor yang antara lain adalah pH tanah, kondisi redoks, jenis mineral, bahan organik, dan mikroorganisme tanah.

DAFTAR PUSTAKA

Bohn, H.L., B.L. McNeal, and G.A. O'Connor. 2001. Soil chemistry. 3rd Edition. John Wiley and Sons. 307 p.

Breemen, N.V. and P. Buurman. 2002. Soil Formation, 2nd edition. Kluwer Academic Publisher. Dordrecht. USA. 404 p.

Chen, C.C., J.B. Dixon, and F.T. Turner. 1980. Iron coating on rice roots; morphology and model development. *Soil Science Society of America Journal*. 44; 1113 – 1119.

Dent, D.L. 1986. Acid Sulphate Soils. A baseline for research and development. ILRI. Wageningen Publ. No. 39 The Netherlands.

Duckworth, O.W., S.J.M. Holmstrom, J. Pena, and G. Sposito. 2009. Biogeochemistry of iron oxidation in circumneutral freshwater habitat. *Chemical Geology*. 260; 149 – 158.

FAO-UNESCO. 1994. Soil map of the world. Revised legend with corrections. Reprint of World Soil Resources Report. FAO. Rome

Gao, S., K.K. Tanji, S.C. Scardaci, and A.T. Chow. 2002. Comparison of redox indicators in a paddy soil during rice-growing season. *Soil Science Society of America Journal*. 66:805-817.

Jumbri, A., A. Fahmi, dan A. Susilawati. 2007. Potensi pengelolaan jerami dan penggunaan varitas unggul adaptif sebagai komponen teknologi peningkatan produktivitas tanah sulfat masam. Hlm 305- 314. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional Sumber Daya Lahan Pertanian. Bogor, 14- 15 September 2006. Buku III. Balai Besar Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian..

Kolling, M., M. Ebbert, and H.D. Schultz. 1999. A novel approach to the presentation of pe/pH diagram *dalam* J. Schuring, H.D. Scultz, W.R. Fischer, J. Botcher dan W.H.M. Duijnsveldt. (*Editors*). Redox; Fundamentals, processes and applications. Springer, New York, USA. 251 p.

Konsten, C.J.M., N.V. Breemen, S. Suping, I B. Aribawa, and J.E. Groenenberg. 1994. Effect of flooding on pH of rice-producing, acid sulphate soils in Indonesia. *Soil Science Society of America Journal*. 58:871-883.

Kyuma, K. 2004. Paddy Soil Science. Kyoto University Press dan Trans Pacific Press. Melbourne. Australia. 279 p.

- Maas, A. 2003. Peluang dan konsekuensi pemanfaatan lahan rawa pada masa mendatang. Makalah Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar pada Fakultas Pertanian UGM Yogyakarta,
- Majerus, V., P. Bertin, and S. Lutts. 2007. Effects of iron toxicity osmotic potential, osmolytes and polyamines in the african rice. *Plant and Science*. 173:96-105.
- Muhrizal, S, J. Shamshuddin, I. Fauziah and M.A. . Husni. 2006. Changes in Iron-Poor Acid Sulphate Soil upon Submergence. *Geoderma* 131. 2006.
- Noor, M. 2004. Lahan rawa.; Sifat dan pengelolaan tanah bermasalah sulfat masam. PT. Raja Grafindo Persada. Jakarta, 241 hlm.
- Nozoe, T., R. Agbisit, Y. Fukuta, R. Rodriguez, and S. Yanagihara. 2004. The iron (Fe) excluding power of rice root as a mecanism of tolerance of ellite breeding lines to iron toxicity. *Dalam New Direction for Adverse Planet ; Proceeding of the 4th International Crop Science Congress Brisbane, Australia, 26 Sep – 1 Oct 2004.*
- Patrick Jr, W.H and A. Jugsujinda. 1992. Sequential reuction and oxidation of inorganic nitrogen, manganese, and iron in flooded soil. *Soil Science Society of America Journal*. 56:1071- 1073.
- Ponnamperuma, F.N. 1984. Effects of flooding on soils. *Dalam T. Kozlawski (Ed.) Flooding and Plant Growth; Physical ekology. A series monographs, text and treatises. P ; 10-45. Acaademic Press Inc. Harcourt Brace Javanovich Publisher, USA.*
- Reddy, K.R., and R.D. DeLaune. 2008. *The Biogeochemistry of Wetlands ; Science and applications*. CRC Press. New York, USA. 779 p.
- Sahriwat, K.L., S. Diatta, and B.N. Singh. 2001. Nutrient aplication on reduce iron toxicity in lowland rice in West Africa. *West Africa Rice Development Association (WARDA)*
- Schwertmann, U. and R.M. Taylor. 1989. Iron Oxide. Pp. 379-438. *In J.B. Dixon dan S.B. Weed (Eds.) Mineral in Environment. 2nd editions. SSSA Book series I. SSSA, Medison, WI.*
- Shamshuddin, J., M. Syarwani, S. Fauziah and I. Van Ranst. 2004. A Laboratory study on pyrite oxidation in acid sulphate soils. *Soil. Sci. Plant Anal.* 35 (1 & 2). 117 – 129.
- Stuucky, J.W. 2006. Properties and behaviour of iron in clay minerals. Pp. 423-476. *In F. Bergaya, B.K.G. Theng, dan G. Lagaly. 2006. Hand Book of Clay Science. Development in clay science vol. 1. Elsevier.*
- Wang, T. and J.H. Peverly. 1999. Iron oxidation states on root surface of a wetland plant (*Pragmites australis*). *Soil Science Society of America Journal*. 63:247-252.
- WARDA (West Africa Rice Development Association). 2002. Painting the rice red ; iron toxicity in the low lands. Pp. 29-37. *Annual Report 2001-2002.*