
JENIS MINERAL LIAT DAN PERUBAHAN SIFAT KIMIA TANAH AKIBAT PROSES REDUKSI DAN OKSIDASI PADA LINGKUNGAN TANAH SULFAT MASAM

E. Dewi Yuliana

Jurusan Biologi Fakultas MIPA, Universitas Hindu Indonesia Denpasar

Email: dewi.yuliana1966@yahoo.co.id

Abstract

This research was performed to study the characteristic of acid sulphate agricultural soil. Since "pasang surut" area are very potensial to be used for agriculture, it advantages and disadvantages has to be investigated based on mineral exchange and chemical characteristic due to oxidation and reduction processes. This research was using completely randomized design ; soil was collected from agricultural area using pots before these pots were then randomly mounted in glass house. This soil then analysed in Laboratory to find out its characteristics such as clay mineral and chemical characteristics of the soil. These analysis were performed twice, i.e. before reduction-oxidation and after reduction-oxidation process. Data than statistically analysed in semi quantitative and qualitative before descriptive interpretations. Results from this analysis indicated that; (1) Reduction-oxidation processes applied to the acid sulfat soil do not change the kind of mineral contained in the soil whether montmorilonit, illit, kaolinit, goethit, or quart; (2) Soil being reduce for 2 months underwent chemical changes such as, soil pH increased form 5 to 5.30, al-dd content were decreased from 7.81 me/100g into 5.35 me/100g, iron ferro was increased from 41.14 ppm into 284.32 ppm, but ferric iron was decreased from 424.73 ppm into 185.79 ppm, the amount of soluble sulphate was decreased from 436.18 ppm into 240.74 ppm; (3) After it was oxidized for two months, chemical characteristic of the soil was changed, soil pH was changed from 5.00 into 4.26, Al-dd was increased from 7.81 me/100g into 20.42 me/100g, ferro iron content was decreased from 51.14 ppm into 21.59 ppm, by contrast, ferric iron content was increased from 424.73 ppm into 448.52 ppm, soluble sulphate was increased from 384.64 ppm into 436.18 ppm.

Key words : clay mineral; chemical characteristic soil; acid sulphate soil envirovement; reduction and oxidation

1. Pendahuluan

Pemanfaatan lahan-lahan marginal seperti lahan rawa pasang surut merupakan salah satu pengembangan program ekstensifikasi pertanian. Menurut Mustafa (2011), di Indonesia potensi tanah sulfat masam mencapai 6.6 juta hektar, dan ini merupakan yang terbesar di dunia. Namun potensi lahan sulfat masam tersebut baru dimanfaatkan sekitar 612.000 hektar. Tanah sulfat masam merupakan salah satu potensi yang harus terus dikembangkan guna menunjang swasembada pangan. Pada saat ini lahan sulfat masam telah dikembangkan secara intensif untuk lahan pertanian terutama padi sawah yang biasanya dikaitkan dengan

program transmigrasi dan pencetakan sawah baru, namun demikian masalah yang berkaitan dengan tanah merupakan kendala yang ditemukan pada lahan tersebut.

Tanah sulfat masam potensial mempunyai kandungan pirit pada kedalaman kurang dari 50 cm dari permukaan tanah yang cukup tinggi. Salah satu cara untuk mengatasi masalah pada tanah ini adalah dengan penyawahan (penggenangan), akan tetapi kendala lain akan muncul seperti keracunan Fe^{2+} , H_2S , dan asam-asam organik (Madjid, 2009). Untuk memperlancar pencucian senyawa beracun maka penggantian air perlu dilakukan tetapi hal ini belum sepenuhnya diterapkan oleh petani, karena petani

tidak dapat menduga dengan pasti berapa lama air pengganti akan dapat menggenangi kembali petak sawahnya, atau dengan kata lain jaminan datangnya air pada lahan pasang surut tidak jelas. Karena itu petani tetap membiarkan sawahnya dalam keadaan tergenang untuk menghindari oksidasi pirit. Namun umumnya petani tidak menyadari bahwa keadaan tergenang yang terlalu lama, sama-sama mempunyai bahaya bila dibandingkan dengan teroksidasinya pirit.

Bila pirit teroksidasi maka kelarutan ion H^+ , Fe^{3+} , dan gugus asam sulfat meningkat, sehingga dapat bersifat racun bagi tanaman. Di sisi lain tingkat keasaman yang tinggi tersebut menyebabkan kisi-kisi mineral, terlebih mineral liat 2:1 (montmorilonit) goyah terbongkar dan melepaskan Al^{3+} (Sudarsono, 1996). Terbongkarnya kisi-kisi mineral liat 2:1 dan terlepasnya Al^{3+} ke dalam larutan tanah, diduga dapat menyebabkan terjadinya perubahan mineral liat. Namun Hardjowigeno (1993) menyatakan bahwa kemasaman yang tinggi pada tanah sulfat masam selama 60 tahun hanya mampu mengusir lapisan hidroksida-Mg dalam mineral liat. Di sisi lain dari hasil penelitian Kawaguchi., dkk (dalam Kyuma, 1978) menyatakan bahwa komposisi mineral liat tanah sawah jarang menunjukkan perubahan yang jelas sebagai akibat penyawahannya lebih dari 100 tahun.

Berdasarkan uraian di atas dan untuk lebih memberikan pemahaman yang lebih jelas terhadap perubahan sifat-sifat kimia tanah dan mineral liat akibat proses reduksi dan oksidasi maka penelitian mengenai “Jenis Mineral Liat dan Perubahan Sifat Kimia Tanah Akibat Proses Reduksi dan Oksidasi pada Lingkungan Tanah Sulfat Masam” perlu dilakukan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di lokasi Proyek Penelitian Pengembangan Pertanian Rawa Terpadu (ISDP) di daerah Karang Agung Ulu Sumatera Selatan. Penelitian ini berlangsung selama 4 bulan, dimulai bulan April sampai dengan bulan Agustus 1997. Penelitian ini dirancang dengan menggunakan rancangan dasar (rancangan untuk lingkungan tempat percobaan) adalah Rancangan Acak Lengkap dengan dua faktor perlakuan yaitu faktor pertama : Proses Reduksi (penggenangan tanah selama dua bulan) dan faktor kedua : Proses Oksidasi (pengeringan tanah selama dua bulan). Masing – masing perlakuan diulang sebanyak tiga

kali, sehingga diperoleh enam satuan percobaan.

Tanah yang dipergunakan pada percobaan ini diambil di lapang (areal persawahan), contoh tanah utuh diambil pada daerah yang mempunyai ketebalan lapisan pirit yang seragam (hingga kedalaman 1 meter dari permukaan tanah), dengan kedalaman muka air tanah di atas lapisan pirit. Selanjutnya contoh tanah utuh diambil sampai kedalaman 80 cm dari permukaan tanah dengan menggunakan pipa yang terbuka baik pada ujung atas maupun pada ujung bawah. Paralon yang digunakan berdiameter 25 cm dan panjang 90 cm (selanjutnya disebut sebagai pot percobaan). Pot yang berisi contoh tanah utuh digenangi air kemudian ditempatkan pada drum terbuka di bagian atas dengan diameter 1 meter dan tinggi 30 cm, yang mana drum-drum tersebut telah dipenuhi dengan air (dimaksudkan agar tanah tidak teroksidasi selama pengangkutan ke kamar kaca). Kemudian drum yang berisi pot ditempatkan secara acak di kamar kaca. Untuk perlakuan tanah tereduksi, maka tanah selama percobaan selalu dipertahankan dalam keadaan tergenang di atas permukaan tanah, dengan demikian diharapkan proses oksidasi tidak berlangsung. Untuk perlakuan tanah teroksidasi, maka tanah selama percobaan selalu dipertahankan dalam keadaan kering tanpa ditambahkan air, dengan demikian diharapkan proses reduksi tidak terjadi.

Analisis tanah baik pada contoh tanah awal (sebelum percobaan) dan setelah percobaan, untuk mengetahui persentase susunan mineral liat, jenis mineral liat, dan sifat kimia tanah dilakukan di Laboratorium Kimia dan Fisika Tanah, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian IPB, dan Laboratorium Kimia Tanah Puslittanak, Bogor. Data hasil pengamatan laboratorium dianalisis secara semi kuantitatif dan kualitatif dengan interpretasi data bersifat deskriptif.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Mineral Liat

Mineral Liat Contoh Tanah Awal. Hasil analisis difraktometer sinar X (*X-Ray Diffractometer = XRD*) terhadap mineral liat pada contoh tanah, menunjukkan jenis mineral liat pada tiap-tiap horizon relatif sama (Gambar 1, 2, 3, 4).

Pada hasil difraktogram Gambar 1,2,3,4 tersebut terlihat beberapa puncak mineral liat yang dapat berubah akibat perlakuan penjenjuran yang berbeda (Mg, Mg-gliserol, K, dan perlakuan K dengan

pemanasan 550°C). Dari perubahan-perubahan puncak difraktogram akibat perlakuan yang berbeda-beda tersebut, dapat diinterpretasikan jenis-jenis mineral liat yang ditemukan sebagai berikut.

1. Montmorilonit : dengan puncak 14.20 – 14.91 A° dengan penjuhan Mg, dan puncak mengembang menjadi 17.68 – 18.24 A° dengan penjuhan Mg-glisierol, kemudian puncak menciut menjadi 12.21 – 12.97 A° dengan penjuhan K dan akhirnya puncak menciut lagi menjadi 10.01 – 10.14 A° akibat penjuhan K dengan pemanasan 550° C.
2. Illit : dengan puncak tetap 10.01 – 10.14 A° baik dengan penjuhan Mg, penjuhan Mg-glisierol, penjuhan K, maupun penjuhan K dengan pemanasan 550° C.
3. Kaolinit : dengan puncak tetap 7.12 – 7.15 A°, baik dengan penjuhan Mg, penjuhan Mg-glisierol maupun dengan penjuhan K, namun puncak tersebut akan rusak (hilang) bila penjuhan K dengan pemanasan 550° C dilakukan.
4. Goethit : dengan puncak 4.26 A° pada penjuhan Mg.
5. Kuarsa : dengan puncak 3.34 A° pada penjuhan Mg.

Pada tiap-tiap horizon didapatkan beberapa jenis mineral liat. Berdasarkan syarat pembentukan masing-masing mineral tersebut, ternyata keadaan

lingkungan di lokasi penelitian tidak mewakili syarat terbentuknya mineral-mineral tersebut. Beberapa kondisi lingkungan di lapang yang tidak memenuhi untuk membentuk masing-masing mineral tersebut antara lain kandungan Mg dan basa-basa lain di lokasi penelitian tergolong tinggi kecuali Kalium (Tabel 2), sehingga tidak memenuhi syarat untuk terbentuknya kaolinit. Salah satu syarat pembentukan kaolinit, bila kandungan Mg dan basa-basa lain tidak ada dalam lingkungan di mana kaolinit terbentuk. Salah satu syarat untuk pembentukan illit, bila dalam lingkungan tersebut kaya K. Namun di lokasi penelitian kadar K-dd sedang yaitu 0.20 me/100g tanah (Tabel 2), sehingga illit tidak bisa terbentuk. Demikian pula kemungkinan terbentuknya goethit sangat kecil karena menghendaki kondisi lingkungan yang aerob (teroksidasi). Sedangkan kondisi di lapang adalah kebalikan dari syarat terbentuknya goethit (Hardjowigeno, 1993).

Oleh karena itu keberadaan masing-masing mineral liat di lokasi penelitian, disebabkan karena bahan-bahan tersebut sudah terbentuk di tempat lain dan kemudian seiring dengan waktu bahan-bahan tersebut diendapkan di sana. Dengan kata lain bahan-bahan yang ada di lokasi penelitian adalah bahan endapan, hal ini di dukung pula oleh bahan induk tanah yang ada di sana adalah bahan sidemen (endapan).

Hasil pengolahan data terhadap perubahan mineral liat tanah di lokasi penelitian didasarkan atas

Tabel 1. Susunan Persentase Mineral Liat

Pengamatan	Susunan Mineral Liat (%)				
	Montmorilonit	Illit	Goethit	Kaolinit	Kuarsa
Contoh Tanah Awal					
- Horison Apg	12.91	12.06	9.52	40.05	25.46
- Horison Bg	11.73	11.84	8.94	42.82	24.67
- Horison Cg1	10.12	12.78	8.74	43.82	24.45
- Horison Cg2	10.08	12.93	10.33	42.11	24.56
Contoh Tanah setelah Pengeringan 2 bulan (horizon Apg)	12.29	12.96	9.78	40.95	24.03
Contoh Tanah setelah Penggenangan 2 bulan (Horison Apg)	12.37	13.43	8.25	40.93	25.04

perhitungan persentase (kadar) masing-masing mineral liat dihitung secara semi kuantitatif berdasarkan proporsi luas bidang puncak masing-masing mineral liat. Persentase susunan mineral liat baik sebelum percobaan dilakukan (contoh tanah awal), contoh tanah teroksidasi (setelah dilakukan pengeringan), dan contoh tanah tereduksi (setelah dilakukan penggenangan) disajikan dalam Tabel 1.

Dari Tabel 1 terlihat kaolinit dan kuarsa mempunyai proporsi tertinggi. Mineral illit dan montmorilonit mempunyai proporsi yang hampir sama, selanjutnya menyusul mineral goethit yang mempunyai proporsi paling rendah.

Penentuan kelas mineralogi pada famili tanah didasarkan atas jenis dan persentase mineral liat yang ditemukan. Karena beragamnya jenis mineral liat yang ditemukan dan tidak adanya salah satu mineral liat yang mempunyai persentase yang melebihi 50%, maka dalam kelas mineralogi digolongkan ke dalam kelas mineralogi campuran.

Mineral Liat Setelah Teroksidasi. Jenis mineral liat yang ditemukan setelah teroksidasi (pengeringan) selama 2 bulan, ternyata sama dengan contoh tanah awal (Gambar 5). Secara umum tidak terjadi perubahan yang jelas pada persentase dari masing-masing mineral liat (Tabel 1). Tidak diketemukannya jenis mineral liat yang berbeda dari contoh tanah awal, disebabkan oleh belum cukupnya waktu pengeringan selama dua bulan yang diperlukan untuk mengubah jenis mineral liat tersebut.

Tidak ditemukannya jarosit dari hasil analisis difraktometer sinar X setelah pengeringan 2 bulan disebabkan karena kandungan jarosit yang terbentuk sangat sedikit yang didasarkan atas hasil pengamatan lapang. Hal ini ditunjukkan oleh terbentuknya warna kuning jerami yang tidak begitu jelas, hanya kelihatan samar-samar di antara retakan tanah. Diduga puncak-puncak kecil antara puncak 5 – 6 AÚ dan puncak di bawah 3 AÚ merupakan ekspresi dari jarosit. Akan tetapi secara relatif perbandingan jumlah mineral silikat jauh lebih banyak dibanding jarosit, sehingga pada saat dianalisa komposisi jarosit tidak terdeteksi dengan difraktometer sinar X.

Hal senada juga disampaikan oleh Simatupang (2006), keracunan Al dan Fe pada tanah sulfat masam dapat terjadi akibat reklamasi lahan sulfat masam dengan pembuatan saluran drainase, sehingga menyebabkan penurunan muka air tanah dan mengubah suasana anaerob menjadi aerob. Kalau penurunan muka air tanah melewati lapisan pirit, maka

terjadi oksidasi pirit yang akan menghasilkan senyawa sulfat dan menyebabkan reaksi tanah sangat masam. Reaksi oksidasi pirit melepaskan ion H^+ dan Fe^{3+} , dan gugus asam sulfat. Saad, dkk (2008) menyatakan kemasaman yang tinggi menyebabkan kisi-kisi mineral, terlebih mineral liat montmorilonit type 2 : 1 goyah terbongkar dan melepaskan Al^{3+} ke dalam larutan tanah. Karena singkatnya waktu pengeringan (oksidasi) yang hanya berlangsung selama dua bulan, belum memungkinkan terjadinya perubahan mineral liat yang dikandung di dalam tanah baik montmorilonit, illit, kaolinit, goethit, maupun kuarsa, namun hanya memungkinkan terjadinya perubahan pada sifat kimia tanah. Hal ini sesuai dengan pendapat Yuliana (2010) yang menyatakan bahwa semakin dalam muka air tanah dari lapisan pirit dan semakin lama pengeringan pada tanah sulfat masam, maka semakin jelas terjadi perubahan sifat kimia tanah, seperti terjadi penurunan pH tanah dan besi ferro, pada beberapa cm lapisan teratas kadar sulfat larut juga menurun, sebaliknya semakin jelas terjadi peningkatan kadar Al-dd dan besi ferri.

Mineral Liat Setelah Tereduksi. Penggenangan tanah yang diteliti selama 2 bulan, ternyata secara umum menyebabkan jenis mineral liat yang ditemukan tidak berbeda dengan jenis mineral liat yang terdapat pada pengeringan selama 2 bulan (Tabel 1). Demikian pula tidak terdapat perbedaan dengan jenis mineral liat pada contoh tanah awal pada horizon Apg (Gambar 6).

Tidak terjadinya perubahan susunan jenis mineral liat akibat penggenangan kembali pada tanah ini, disebabkan belum cukup waktu penggenangan yang diperlukan untuk mengubah jenis-jenis mineral liat terutama diharapkan meningkatnya persentase montmorilonit akibat drainase yang buruk. Namun hal ini bukan berarti tidak terjadi perubahan terhadap sifat-sifat tanah akibat penggenangan, karena penggenangan menyebabkan terjadinya kondisi reduktif pada tanah sehingga proses reduksi berlangsung. Reduksi menyebabkan terjadinya perubahan terhadap sifat-sifat tanah, tetapi hal ini belum mampu mengubah susunan jenis mineral liat seperti yang tercantum dalam Tabel 1.

Perubahan sifat-sifat tanah bila tanah digenangi, disebabkan karena persediaan oksigen menurun sampai mencapai nol dalam waktu kurang dari sehari. Laju difusi oksigen udara melalui lapisan atau pori yang berisi air seribu kali lebih lambat dari pada melalui udara atau pori yang berisi udara.

Hasilnya adalah mengubah tanah dari keadaan teroksidasi menjadi tereduksi. Kuatnya proses reduksi bergantung pada jumlah bahan organik yang mudah terombak dan suhu tanah (Madjid, 2009). Reduksi dapat terjadi jika kondisi-kondisi berikut dapat terpenuhi secara simultan : adanya bahan organik, tidak adanya pasokan oksigen dan adanya mikroorganisma anaerob dalam lingkungan yang cocok untuk pertumbuhannya. Dalam keadaan tereduksi, jasad renik aerob dengan cepat menghabiskan udara yang tersisa dan menjadi tidak aktif lagi. Bakteri anaerob berkembang biak dengan cepat dan mengambil alih proses perombakan bahan organik tanpa menggunakan oksigen, sebagai gantinya menggunakan komponen tanah yang teroksidasi sebagai penangkap elektron.

Persyaratan tidak adanya suplai oksigen dapat dipenuhi jika tanah jenuh air karena laju difusi gas yang sangat lambat di dalam air. Reduksi oksigen yang tersisa akan terjadi terlebih dahulu, diikuti oleh unsur-unsur yang lain. Unsur-unsur tersebut tereduksi menurut urutan termodinamika sebagai berikut : nitrat, senyawa mangan, senyawa besi ferri, senyawa antara dari perombakan bahan organik, sulfat dan sulfid. Lahan sulfat masam memiliki status hara rendah dan miskin unsur hara penting seperti N, K, Ca, dan Mg. Kemasaman tinggi menghambat terjadinya mineralisasi N, serta menyebabkan

pencucian K, Ca, dan Mg. Ketersediaan hara P pada umumnya rendah, walaupun P total tinggi. Tingginya Fe dan Al diduga sebagai penyebab tingginya fiksasi P pada tanah sulfat masam (Fahmi,dkk., 2009).

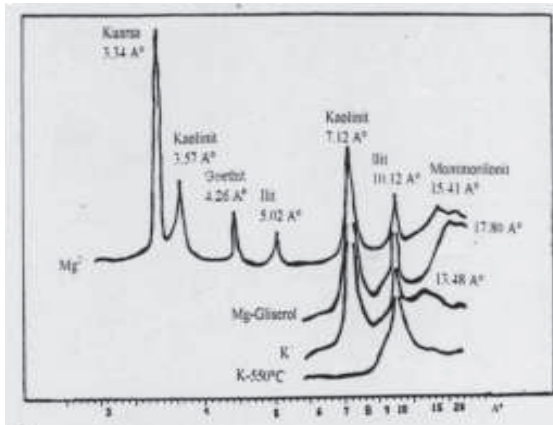
Waktu penggenangan yang singkat (2 bulan) pada tanah sulfat masam dalam penelitian ini belum memungkinkan terjadinya perubahan pada mineral liat. Bila terjadi perubahan mineral liat maka memungkinkan untuk terbentuknya jenis tanah yang lain, yang membawa konsekuensi terhadap perubahan karakteristik pada tanah tersebut, yang diduga akan mengarah pada kondisi yang lebih baik untuk budidaya padi sawah. Hal ini di dukung oleh pendapat Yuliana (2009) yang menyatakan bahwa karakteristik dan klasifikasi tanah sangat dipengaruhi oleh persentase liat yang dibobotkan (liat total).

3.2 Sifat Kimia Tanah Setelah Tereduksi

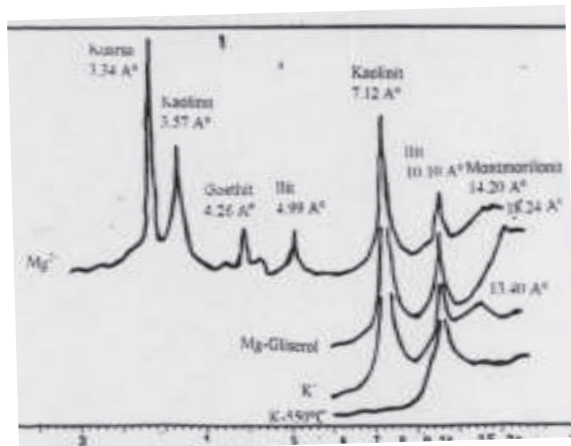
Hasil analisis tanah di laboratorium terhadap sifat kimia pada contoh tanah awal dan pada tanah setelah tereduksi disajikan pada Tabel 2.

a. Kemasaman (pH) Tanah

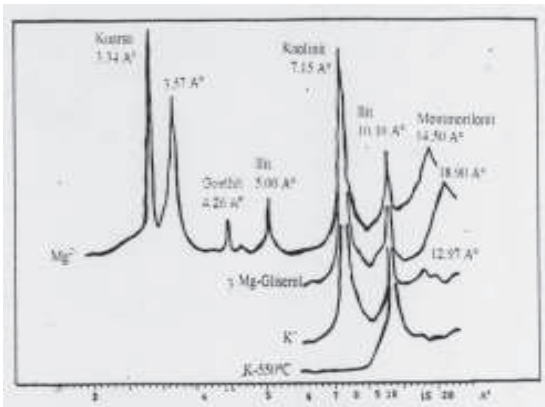
Tanah dalam keadaan tereduksi (penggenangan tanah) ternyata mampu menaikkan pH tanah, dan pH tanah meningkat dengan lamanya penggenangan, walaupun peningkatan tersebut tidak begitu tinggi dari 5.00 menjadi 5.30 (Tabel 2).



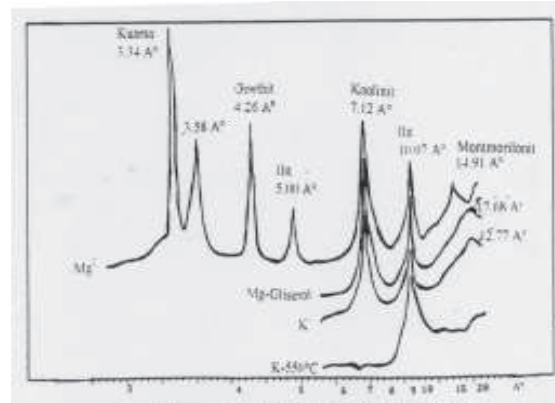
Gambar 1: Difraktogram Sinar-X, Fraksi Liat Contoh Tanah Awal (Horison Apg)



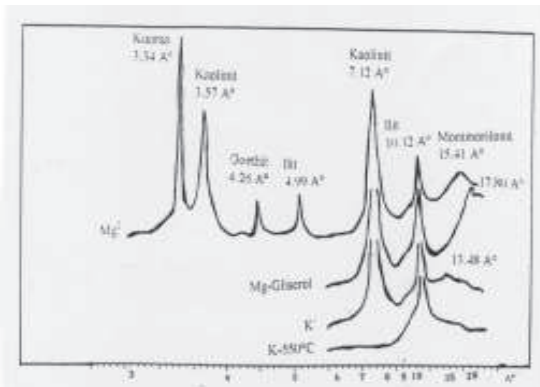
Gambar 2 : Difraktogram Sinar-X, Fraksi Liat Contoh Tanah Awal (Horison Bg)



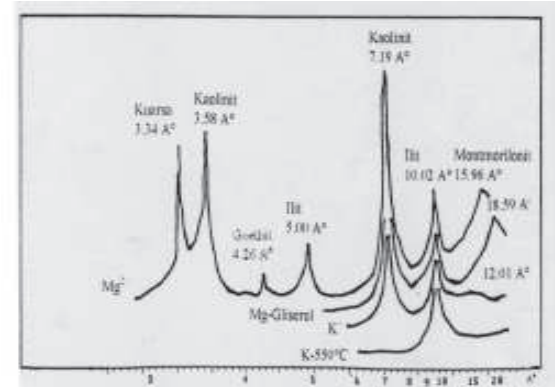
Gambar 3: Difraktogram Sinar-X, Fraksi Liat Contoh Tanah Awal (Horison Cg1)



Gambar 4 : Difraktogram Sinar-X, Fraksi Liat Contoh Tanah Awal (Horison Cg2)

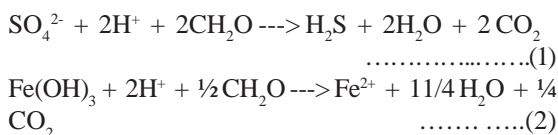


Gambar 5: Difraktogram Sinar-X, Fraksi Liat Tanah Akhir Pengeringan 2 Bulan (Horison Apg)



Gambar 6 : Difraktogram Sinar-X, Fraksi Liat Tanah Akhir Pengeringan 2 Bulan (Horison Apg)

Peningkatan pH tanah akibat pengeringan pada tanah sulfat masam dapat dijelaskan melalui persamaan reaksi berikut ini (Saad, dkk., 2008).



Proses reduksi merupakan proses mengkonsumsi sejumlah ion H^+ setara dengan jumlah Fe^{2+} atau H_2S yang terbentuk. Pengaruh pengeringan secara keseluruhan adalah meningkatkan pH tanah, pada tanah ber-pH rendah

(asam), menurunkan pH pada tanah basa dan pada tanah netral perubahan pH yang terjadi sangat kecil, sedangkan pada tanah sulfat masam terjadi peningkatan pH berkisar sampai pH 5. Tanah yang mempunyai pH rendah akan meningkat pH-nya karena dibebaskannya ion OH^- , bila senyawa $\text{Fe}(\text{OH})_3$, SO_4^{2-} direduksi menjadi $\text{Fe}(\text{OH})_2$ atau SO_3^{2-} . Akibat luar biasa dari pengeringan sama dengan tindakan penggampangan dan menyebabkan tercapainya kisaran pH optimum yang memungkinkan tersedianya sebagian besar unsur hara, reduksi dianggap paling penting karena dapat menaikkan pH, meningkatkan ketersediaan fosfor dan menggantikan kation dari tempat pertukaran. Hal ini sejalan dengan

pendapat Noor, dkk (2008) bahwa pembasahan dapat menurunkan redoks potensial (Eh) sehingga meningkatkan nilai pH.

b. Aluminium Dapat Ditukar (Al-dd)

Pengukuran kadar Al-dd pada tanah sulfat masam setelah tereduksi (penggenangan) ternyata menurunkan kadar Al-dd, kadar Al-dd menurun sejalan dengan lamanya penggenangan dari 7.81 (me/100g) menjadi 5.35 (me/100g) (Tabel 2).

Penurunan kadar Al-dd akibat penggenangan, erat hubungannya dengan peningkatan pH tanah. Penurunan kadar Al-dd disebabkan terbentuknya endapan aluminium hidroksida akibat tingginya ion OH⁻ terlarut sejalan dengan dengan meningkatnya pH tanah. Pengendapan Al-dd dalam bentuk aluminium hidroksida, sodium alum (NaAl(SO₄)₂ 12H₂O), tamarugit (NaAl(SO₄)₂ 6H₂O), dan pickeringit (MgAl₂(SO₄)₂ 22H₂O terus berlanjut sampai pH tanah mencapai 5.5, dengan kata lain daya meracun Al-dd cepat hilang pada tanah masam apabila tanah digenangi (Suriadikarta, 2005).

c. Besi Ferro (Fe²⁺) dan Besi Ferri (Fe³⁺)

Hasil analisis besi ferro dan besi ferri pada tanah setelah tereduksi disajikan pada Tabel 2. Hasil analisis besi ferro menunjukkan pola yang sama seperti pH tanah, penggenangan pada tanah sulfat masam ternyata meningkatkan kadar besi ferro dari 51.14 ppm menjadi 284.32 ppm. Sedangkan hasil

analisis besi ferri ternyata berbanding terbalik dengan besi ferro, penggenangan menyebabkan kadar besi ferri menurun dari 424.73 ppm menjadi 185.79 ppm.

Keberadaan besi ferro dan besi ferri, merupakan suatu perbandingan terbalik diantara keduanya. Akibat penggenangan pada tanah sulfat masam, menyebabkan kadar besi ferro meningkat sedangkan kadar besi ferri menurun. Keadaan ini disebabkan terciptanya suasana reduktif pada tanah sehingga proses reduksi berlangsung. Berlangsungnya proses reduksi menyebabkan berubahnya bentuk besi ferri menjadi besi ferro. Ikatan senyawa besi yang terbentuk selama proses oksidasi menjadi lemah, sehingga kadar besi ferro terlarut meningkat. Peningkatan kadar besi ferro erat hubungannya dengan kandungan bahan organik tanah sebagai penyumbang electron. Carbon organik tanah di lokasi penelitian tergolong tinggi yakni 6.21 % disajikan pada Tabel 2. Karbon dari bahan organik dalam proses reduksi menghasilkan electron (e⁻). Komponen tanah yang teroksidasi (Fe³⁺) berfungsi sebagai penangkap electron. Menurut Fahmi, dkk (2009) bahwa, Fe³⁺ tereduksi membentuk Fe²⁺, sehingga besi ferro pada tanah dalam keadaan tergenang kadarnya meningkat, hal sebaliknya terjadi pada besi ferri. Dalam keadaan tergenang ion Fe³⁺ direduksi menjadi Fe²⁺, hal ini diduga merupakan reduksi terpenting yang terjadi dalam tanah tergenang karena senyawa besi biasanya lebih banyak dari senyawa lain seperti

Tabel 2. Hasil Analisis Sifat Kimia pada Contoh Tanah Awal, Setelah Tereuksi dan Setelah Teroksidasi

No.	Sifat Kimia Tanah	Metode	Contoh Tanah Awal	Tanah Setelah Tereuksi	Tanah Setelah Teroksidasi
1.	pH H ₂ O	pH-meter	5.00	5.30	4.26
2.	Al-dd (me/100g)	N-KCl 1N	7.81	5.35	20.42
3.	Fe ²⁺ (ppm)	Na-CAC pH 2.8	51.14	284.32	21.59
4.	Fe ³⁺ (ppm)	Na-CAC pH 2.8	424.73	185.79	448.52
5.	SO ₄ ²⁻ (ppm)	Ekstrak H ₂ O	348.64	240.74	436.18
6.	C-organik (%)	Walkley and Black	6.21	-	-
7.	K-dd (me/100g)	N NH ₄ -OAc pH 7	0.20	-	-
8.	Ca-dd (me/100g)	N NH ₄ -OAc pH 7	3.82	-	-
9.	Mg-dd (me/100g)	N NH ₄ -OAc pH 7	7.76	-	-
10.	Na-dd (me/100g)	N NH ₄ -OAc pH 7	1.13	-	-

Sumber : Hasil Analisis Data

nitrat, mangan ataupun sulfat.

Selanjutnya Suriadikarta (2005) menyatakan, proses reduksi atau penggenangan kembali tanah ini akan menyebabkan peningkatan pH, tapi meningkatkan kelarutan Fe²⁺ dan H₂S yang juga beracun bagi tanaman. Kelarutan Fe²⁺ melebihi 500 mg/l dan H₂S melebihi 1 mg/l akan meracuni tanaman, tetapi hal ini tidak bisa dijadikan patokan, karena variasinya cukup besar tergantung pada varietas dan status hara tanah. Ion-ion berdifusi ke permukaan tanah atau terbawa oleh aliran air dalam pipa kapiler tanah ke permukaan. Ion ferro (Fe²⁺) yang berdifusi mengalami oksidasi menjadi ferri atau mengendap sebagai ferri oksida di permukaan tanah. Difusi ferro terus berlangsung ke permukaan tanah selama ada perbedaan konsentrasi dalam air di permukaan tanah dan di dalam tanah.

d Sulfat Larut (SO₄²⁻)

Hasil analisis sulfat larut disajikan pada Tabel 2, ketersediaan sulfat larut menunjukkan pola yang sama seperti Al-dd dan besi ferri, penggenangan tanah sulfat masam menyebabkan kadar sulfat larut menurun dari 436.18 ppm menjadi 240.74 ppm.

Menurunnya kadar sulfat larut pada semua perlakuan setelah penggenangan disebabkan terciptanya kondisi reduktif sehingga proses reduksi berlangsung (Reaksi 1). Selanjutnya Suriadikarta (2005) menyatakan reduksi sulfat menyebabkan terbentuknya senyawa H₂S sehingga kadar sulfat menurun. Terbentuknya H₂S dapat diamati dari pengamatan langsung di lapang, gas H₂S tercium dengan jelas saat tanah tergenang di dalam pot dibalik, dari bagian bawah ke atas.

3.3 Sifat Kimia Tanah Setelah Teroksidasi

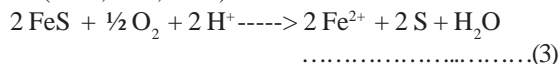
Hasil analisis tanah di laboratorium terhadap sifat kimia tanah setelah teroksidasi disajikan pada Tabel 2

a. Kemasaman (pH) Tanah

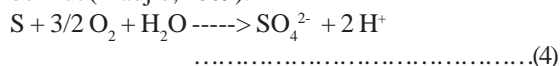
Tanah dalam keadaan teroksidasi (pengeringan tanah) ternyata mampu menurunkan pH tanah, dan pH tanah menurun dengan lamanya pengeringan, walaupun penurunan tersebut tidak begitu tinggi dari 5.00 menjadi 4.26 (Tabel 2).

Turunnya pH tanah akibat pengeringan dapat terjadi apabila permukaan air berada di bawah lapisan pirit pada tanah sulfat masam, sehingga tercipta suasana oksidatif. Dengan demikian oksidasi pirit

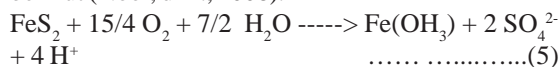
berlangsung, melepaskan ion H⁺ yang menyebabkan turunnya pH tanah, melalui mekanisme reaksi berikut ini (Saad, dkk., 2008).



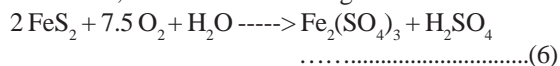
Selanjutnya belerang dioksidasikan oleh oksigen dengan lambat, tetapi dibantu oleh bakteri autotrofik (*Thiobacillus thiooxidans*) pada pH mendekati netral, reaksi tersebut adalah sebagai berikut (Madjid, 2009).



Secara umum reaksi oksidasi pirit adalah sebagai berikut (Noor, dkk., 2008).



Produksi H⁺ inilah yang menyebabkan pH tanah turun menjadi sangat rendah dan berbahaya bagi tanaman. Kemasaman maksimum akan dihasilkan bila semua besi dioksidasikan dan dihidrolisa menjadi ferrisulfat, menurut reaksi sebagai berikut.



Produksi asam sulfat inilah yang menyebabkan pH tanah menjadi sangat rendah dan berbahaya bagi pertumbuhan tanaman. Namun dari Tabel 2 terlihat bahwa pH tanah 4.26, hal tersebut membuktikan bahwa tanah belum mengalami oksidasi maksimum (tidak turunnya pH tanah di bawah 4), yang diduga disebabkan karena adanya bahan lain yang dapat menetralkan kemasaman tersebut. Dengan kata lain produksi asamnya belum melebihi kapasitas netralisasi tanah.

Asam sulfat dan ion H⁺ yang dihasilkan dalam proses oksidasi pirit tersebut dapat dinetralkan melalui beberapa mekanisme, seperti pembentukan jarosit, penetralan oleh senyawa-senyawa hasil disintegrasi mineral-mineral tertentu, efek buffer dari kompleks jerapan, penetralan oleh bahan-bahan kapur, dan pengaruh alkalinitas air tanah dan air pengairan (Madjid, 2009). Hal yang sama juga disebutkan oleh Sudarsono (1996), berbagai senyawa dapat menetralkan kemasaman hasil oksidasi pirit, sehingga pH tidak turun menjadi lebih kecil dari 3.5. Penetralkan kemasaman hasil oksidasi pirit dapat terjadi jika terbentuk asam lemah Si(OH)₄ yang larut akibat reaksi antara H⁺ dengan senyawa silikat (senyawa utama bahan padatan tanah). Di samping itu jika terdapat bahan kapur seperti CaCO₃ maka kapur ini melarut dan membentuk CaSO₄. Keberadaan

unsur - unsur ini membawa dampak langsung meningkatkan pH tanah, sehingga pH tidak kurang dari 3.5. Hal itu terjadi karena ion kalsium akan bereaksi dengan sulfat membentuk gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Lebih lanjut Suriadikarta (2005) dan Noor, dkk (2008), menyatakan bahwa hasil oksidasi pirit antara lain senyawa besi oksida (Goethit atau hematite), jarosit, natrojarosit dan hidronium jarosit, serta senyawa sulfat (gypsum). Terbentuknya jarosit dapat terlihat dari hasil pengamatan lapang, setelah tanah teroksidasi. Adanya jarosit terlihat dari terbentuknya garam berwarna kuning jerami walaupun hanya terlihat samar-samar (keberadaannya tidak terlalu tegas) pada permukaan retakan-retakan tanah. Kedalaman rata-rata retakan tanah 33.12 cm dan lebar retakan di permukaan tanah (antara pot paralon dengan tanah) rata-rata 2.67 cm.

b. Aluminium Dapat Ditukar (Al-dd)

Pengukuran kadar Al-dd pada akhir pengeringan ternyata menunjukkan terjadinya peningkatan dari 7.81 me/100 g menjadi 20.42 me/100 g (Tabel 2). Pada kondisi tanah dikeringkan maka terjadi peluang terciptanya kondisi aerob lebih besar, sehingga oksidasi pirit berlangsung lebih baik, dengan demikian H^+ dan SO_4^{2-} kelutannya meningkat (Reaksi 6). Banyaknya kation H^+ yang dihasilkan dari oksidasi pirit, menyebabkan mineral-mineral silikat alumino di dalam tanah terhidrolisis oleh H^+ membebaskan Al^{3+} . Kadar Al-dd meningkat, tetapi Al-dd akan menjenuhi tanah bila pH menurun di bawah 4. Oleh karena itu ada hubungan yang erat antara tingginya kadar H^+ (rendahnya pH) dengan peningkatan kadar Al-dd. Noor, dkk (2008) menyatakan bahwa pengeringan meningkatkan kemasaman total tertukar (Al^{3+} atau H^+) secara tajam.

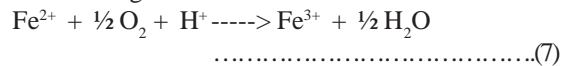
Hal senada juga disampaikan oleh Sudarsono (1996), jika H^+ bereaksi dengan senyawa silikat (bahan utama penyusun bahan padatan tanah) membentuk asam lemah $\text{Si}(\text{OH})_4$, maka akan terjadi penghancuran senyawa silikat. Bersamaan dengan itu maka kation-kation K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} dan Fe^{3+} akan dilepaskan sehingga kadar di dalam tanah meningkat. Di samping itu kemasaman yang tinggi dapat juga mempercepat proses pertukaran antara kation Al^{3+} dalam kompleks jerapan dengan H^+ yang ada dalam larutan tanah. Di sisi lain kemasaman yang tinggi dapat juga mempercepat proses peruraian Al-hidroksida yang mulanya mengendap dan dengan

adanya konsentrasi H^+ terlarut tinggi, menyebabkan terjadinya peningkatan Al-dd.

c. Besi Ferro dan Besi Ferri

Hasil analisis besi ferro dan besi ferri pada tanah sulfat masam disajikan pada Tabel 2. Kadar besi ferro menurun dari 51.14ppm menjadi 21.59 ppm akibat pengeringan, sebaliknya kadar besi ferri meningkat dari 424.73 ppm menjadi 448.52 ppm. Meningkatnya kadar besi ferri dan menurunnya kadar besi ferro, pada keadaan di atas, lebih disebabkan karena terciptanya kondisi aerob sehingga memungkinkan terjadinya oksidasi pirit. Seperti telah dikemukakan dalam reaksi-reaksi sebelumnya, bila pirit teroksidasi selain melepaskan ion H^+ dan SO_4^{2-} juga melepaskan Fe^{3+} .

Di sisi lain peningkatan Fe^{3+} pada suasana oksidatif dapat juga dijelaskan, sebelum bereaksi dengan pirit, oksigen bereaksi terlebih dahulu dengan besi ferro membentuk besi ferri. Pada pH rendah reaksi tersebut berjalan lambat, akan tetapi bakteri autotrof yang terdapat dalam tanah sulfat masam dapat mengatasi hambatan kinetik dalam reaksi kimia murni. Pada pH rendah bakteri *T. ferrooxidans* mengoksidasi besi ferro menjadi besi ferri menurut reaksi sebagai berikut.



d. Sulfat Larut

Pengukuran sulfat larut (SO_4^{2-}) menunjukkan terjadi peningkatan sulfat akibat pengeringan dari 348.64 ppm menjadi 436.18 ppm (Tabel 2). Sebagaimana telah dijelaskan dalam reaksi-reaksi sebelumnya dampak langsung dari oksidasi pirit adalah terbentuknya sulfat. Dapat dipertegas bila pirit teroksidasi maka kadar sulfat akan meningkat kelutannya dalam tanah. Hal ini diduga disebabkan oleh mobilitas anion sulfat yang tinggi, sebagaimana ditunjukkan dalam deret liotropik (Bolt dalam Tan, 1982) sebagai berikut.

$\text{SiO}_4^{4-} > \text{PO}_4^{3-} \gg \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- = \text{Cl}^-$
Anion SiO_4^{4-} dan PO_4^{3-} diadsorpsi sangat kuat, sementara itu anion SO_4^{2-} dan NO_3^- diadsorpsi sangat lemah atau sering tidak diadsorpsi. Kedudukan ion SO_4^{2-} yang sangat labil ini menyebabkan sedemikian rupa sehingga mengakibatkan distribusi sulfat di dalam tanah sulfat masam menjadi tidak menentu. Pada lapisan-lapisan atas sering didapatkan pH tanah rendah namun kadar sulfat larutnya tetap masih

rendah. Perilaku sulfat berbeda dengan besi, sebagian besi yang dimobilisasikan melalui oksidasi pirit tetap tinggal di dalam profil, sedangkan sulfat yang tertinggal sebagai jarosit atau gipsum hanya sedikit. Sebagian besar belerang terlarut dan terdifusi ke lapisan tanah lebih dalam.

4. Simpulan dan Saran

4.1 Simpulan

Berdasarkan pembahasan di atas dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut.

1. Reduksi (penggenangan selama 2 bulan) dan oksidasi (pengeringan selama 2 bulan) yang dilakukan pada tanah sulfat masam di lokasi penelitian, ternyata belum memungkinkan terjadinya perubahan jenis mineral liat yang dikandung di dalam tanah baik montmorilonit, illit, kaolinit, goethit, maupun kuarsa.
2. Tanah dalam keadaan tereduksi (penggenangan yang dilakukan pada tanah sulfat masam selama 2 bulan) ternyata mampu mengubah sifat-sifat kimia tanah. Kemasaman (pH) tanah meningkat dengan penggenangan, walaupun peningkatan tersebut tidak begitu tinggi dari 5.00 menjadi 5.30. Pengukuran kadar Al-dd pada tanah sulfat masam setelah tereduksi (penggenangan) ternyata menurunkan kadar Al-dd, kadar Al-dd menurun sejalan dengan lamanya penggenangan (2 bulan) dari 7.81 me/100g menjadi 5.35 me/100g. Hasil analisis besi ferro menunjukkan pola yang sama seperti pH tanah, penggenangan pada tanah sulfat masam ternyata meningkatkan kadar besi ferro dari 51.14 ppm menjadi 284.32 ppm. Sedangkan hasil analisis besi ferri ternyata berbanding terbalik dengan besi ferro, penggenangan menyebabkan kadar besi ferri menurun dari 424.73 ppm menjadi 185.79 ppm. Ketersediaan sulfat larut menunjukkan pola yang sama seperti Al-dd dan besi ferri, penggenangan tanah sulfat masam menyebabkan kadar sulfat larut menurun dari 436.18 ppm menjadi 240.74 ppm.
3. Tanah dalam keadaan teroksidasi (pengeringan yang dilakukan pada tanah sulfat masam selama 2 bulan) ternyata juga mampu mengubah sifat-sifat kimia tanah. Tanah dalam keadaan teroksidasi (pengeringan tanah) ternyata mampu menurunkan pH tanah, dan pH tanah

menurun dengan lamanya pengeringan (2 bulan), walaupun penurunan tersebut tidak begitu tinggi dari 5.00 menjadi 4.26. Pengukuran kadar Al-dd pada akhir pengeringan ternyata menunjukkan terjadinya peningkatan dari 7.81 me/100 g menjadi 20.42 me/100 g. Hasil analisis besi ferro ternyata berbanding terbalik dengan besi ferri. Kadar besi ferro menurun dari 51.14 ppm menjadi 21.59 ppm, sebaliknya kadar besi ferri meningkat dari 424.73 ppm menjadi 448.52 ppm. Pengukuran sulfat larut (SO_4^{2-}) menunjukkan terjadi peningkatan sulfat akibat pengeringan dari 348.64 ppm menjadi 436.18 ppm.

4.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai terjadinya perubahan jenis mineral liat yang dikandung di dalam tanah sulfat masam baik montmorilonit, illit, kaolinit, goethit, maupun kuarsa, dengan lama waktu penggenangan (reduksi) lebih dari 2 bulan dan lama waktu pengeringan (oksidasi) lebih dari 2 bulan.
2. Supaya sifat-sifat beracun tanah sulfat masam tidak muncul di lahan pertanian dan berbahaya bagi lingkungan, disarankan agar jangan menggenangi tanah sulfat masam sampai 2 bulan dan juga jangan dibiarkan dalam keadaan kering sampai 2 bulan.
3. Perlu kajian yang lebih mendalam dan lebih lengkap tentang karakteristik tanah sulfat masam, bagaimana budidaya tanah sulfat masam yang baik untuk tanaman pangan, serta mengembangkan varietas unggulan tanaman pangan yang bisa dibudidayakan di lahan sulfat masam dengan kendala keasaman yang tinggi.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih, penulis sampaikan kepada rekan-rekan, staf dari *Integrated Swamp Development Project* (ISDP), dan pihak lain atas partisipasinya sehingga kegiatan penelitian ini dapat terselesaikan dan berlangsung dengan lancar. Ucapan terimakasih juga penulis sampaikan kepada Team Redaksi Jurnal Lingkungan Hidup Bumi Lestari Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Universitas Udayana beserta jajarannya, karena telah bersedia meluangkan media jurnalnya, sehingga kami bisa ikut berpartisipasi di dalamnya.

Daftar Pustaka

- Fahmi, A., B.g Radjaguguk, dan B.H. Purwanto. 2009. "Kelarutan fosfat dan ferro pada tanah sulfat masam yang diberi bahan organik jerami padi". *Jurnal Tanah Tropika*. 14(2). 119-125.
- Hardjowigeno, S. 1993. *Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis*. Akademika Pressindo, Jakarta.
- Kyuma, K. 1978. "Mineral Composition of Rice Soil". In IRRI (Ed). *Soil and Rice*. (pp. 219 -235). IRRI. Los Banos
- Madjid, A.R. 2009. Dasar-Dasar Ilmu Tanah. <http://dasar-dasar ilmu tanah.blogspot.com>. diakses tanggal 12 Maret 2012.
- Mustafa, Andi Akhmad. 2011. Potensi Tanah Sulfat Masam Indonesia Terbesar Dunia. <http://id.berita.yahoo.com/potensi-tanah-sulfat-masam-indonesia-terbesar-dunia>. diakses tanggal 12 Maret 2012.
- Noor, M, A. Maas, T. Notohadikusomo. 2008. "Pengaruh pengeringan dan pembasahan terhadap sifat kimia tanah sulfat masam Kalimantan". *Jurnal Tanah dan Iklim*. 1417/D/2006.
- Saad, Asmadi, Yudi Achnopa, dan H. Ishak Muhammad. 2008. "Penerapan teknologi perbaikan lahan sulfat masam pada lahan sawah seluas 100 hektar di Desa Pematang Mayan dan Rantau Makmur Kabupaten Tanjung Jabung Timur Jambi". *Jurnal Pengabdian pada Masyarakat*, 46. 46-54
- Simatupang, R.S. 2006. *Pengembangan Eks-PLG Teknologi Olah Tanah Konservasi*. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Tabloid Sinar Tani, hlm 40.
- Sudarsono. 1996. "Pengelolaan Tanah dan Air dalam Pengembangan Sumberdaya Usahatani Berkelanjutan dan Berwawasan Lingkungan". Makalah disajikan dalam *Pelatihan Pelaksana Penelitian dan Pengembangan Pertanian*. Integrated Swamps Development Project (ISDP), Palembang Tahun 1996.
- Suriadikarta, Didi Ardi. 2005. "Pengelolaan lahan sulfat masam untuk usaha pertanian". *Jurnal Litbang Pertanian*, 24 (1), 2005.
- Tan, K.H. 1982. *Principles of Soil Chemistry*. Marcel Dekker Inc, New York and Basel.
- Yuliana, E. Dewi. 2009. "Karakteristik dan klasifikasi tanah rawa pasang surut di Karang Agung Ulu Sumatera Selatan". *Jurnal Udayana Mengabdi*, 8(1). 9-18.
- Yuliana, E. Dewi. 2010. "Inovasi teknologi kedalaman muka air tanah dan lama pengeringan terhadap sifat kimia tanah sulfat masam". *Jurnal Widya Wreta*, 1. 15-24.