

KARAKTERISTIK TANAH SULFAT MASAM DAN PENGELOLAANNYA UNTUK LAHAN PERTANIAN

Ida Nursanti

Universitas Batanghari

Yuza Defitri

Fakultas Pertanian Universitas Batanghari

Jl.Slamet Riyadi Jambi-36121 Indonesia

Korespondensi Penulis: ida_unbari@yahoo.co.id

Abstract. Acid sulfate soils are quite abundant in Indonesia, and some have been used for agricultural land. The main problem with this soil is the presence of pyrite compounds (FeS_2). The oxidation of these compounds causes the soil to become acidic, metals and bases dissolve so that the soil becomes poor and the life of aquatic biota affected by the drainage water is disturbed. The oxidized soil, if flooded again, causes an increase in ferrous iron ions and hydrogen sulfide which can poison plants, therefore management of acid sulfate soils needs to be carried out so that the soil has characteristics that can support plant growth. Some soil management actions that can be taken are controlling the activity of microorganisms in the oxidation and reduction processes of pyrite, providing amelioration materials and fertilization, land management and water management.

Keywords: Characteristics and management of acid sulfate soils, agricultural land

Abstrak. Tanah sulfat masam terdapat cukup banyak di Indonesia, dan sebagian telah dimanfaatkan untuk lahan pertanian. Problem utama pada tanah tersebut adalah adanya senyawa pirit (FeS_2). Adanya oksidasi senyawa tersebut menyebabkan tanah menjadi masam, logam-logam dan basa-basa melarut sehingga tanah menjadi miskin dan kehidupan biota perairan yang terkena air drainasenya menjadi terganggu. Tanah yang telah teroksidasi tersebut bila tergenang kembali menyebabkan meningkatnya ion besi ferro dan hidrogen sulfida yang dapat meracuni tanaman, oleh karena itu pengelolaan tanah sulfat masam perlu dilakukan agar tanah tersebut memiliki karakteristik yang dapat mendukung pertumbuhan tanaman. Beberapa tindakan pengelolaan tanah yang dapat dilakukan adalah mengontrol aktivitas mikroorganisme pada proses oksidasi dan reduksi pirit, pemberian bahan ameliorasi dan pemupukan, penataan lahan serta pengelolaan air.

Kata Kunci : Karakteristik dan pengelolaan tanah sulfat masam, lahan pertanian

PENDAHULUAN

Pemanfaatan lahan marjinal (lahan sulfat masam) sebagai lahan pertanian merupakan salah satu upaya dalam meningkatkan produktivitas pertanian Indonesia. Permasalahan dari lahan sulfat masam terletak pada kondisi fisik dan kimia tanah. Sifat fisik tanah sulfat masam juga umumnya memiliki kandungan liat yang tinggi. Permasalahan utama dari sifat kimia lahan sulfat masam adalah adanya bahan sulfidik, yang merupakan penciri tanah sulfat masam.

Tanah sulfat masam merupakan tanah yang mengandung senyawa pirit (FeS_2), banyak terdapat di daerah rawa, baik pada pasang surut maupun lebak. Mikroorganisme sangat berperan dalam pembentukan tanah tersebut. Pada kondisi tergenang senyawa tersebut bersifat stabil, namun bila telah teroksidasi maka akan memunculkan problem, bagi tanah, kualitas kimia perairan dan biota-biota yang berada baik di dalam tanah itu sendiri maupun yang berada di badan-badan air, dimana hasil oksidasi tersebut tercuci ke perairan tersebut. Dent (1986) menyebutkan bahwa senyawa pirit tersebut merupakan sumber masalah pada tanah tersebut.

Dilihat luasan, topografi dan ketersediaan air, lahan tersebut sebenarnya mempunyai potensi untuk pengembangan tanaman pangan dan tahunan. Di Indonesia, diperkirakan terdapat sekitar 6,7 ha lahan berpirit tersebut, yang tersebar di pulau Kalimantan, Sumatera, dan Irian . Topografi termasuk kategori datar (<3%) dengan ketersediaan air yang bervariasi tergantung tipe luapan air. Sebagian lahan tersebut telah dibuka untuk pemukiman transmigrasi, dan ditanami padi, palawija dan buah-buahan dengan hasil yang bervariasi, dan umumnya dibawah potensi produksi tanaman (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya lahan Pertanian, 2006).

Tanah sulfat masam adalah tanah yang mengandung bahan sulfidik, yang apabila teroksidasi berpotensi membentuk asam sulfat dalam jumlah yang meracuni tanaman dan berdampak signifikan pada karakteristik tanah. Hal ini menjadi masalah internal sifat tanah inherent yang tidak menguntungkan karena jika telah terbentuk asam sulfat, maka pH tanah akan menjadi sangat masam dan mendorong pembentukan besi sulfat dan aluminium sulfat sehingga tanah menjadi tidak subur, karena diikuti juga dengan kekahatan hara-hara penting yang dibutuhkan tanaman (Soil Survey Staff, 2014).

Perbaikan tanah sulfat masam menggunakan amelioran dapat meningkatkan kesuburan tanah sulfat masam. Vieira et al. (2008) menjelaskan bahwa kriteria amelioran yang baik untuk lahan rawa pasang surut adalah mempunyai kejenuhan basa tinggi, dapat meningkatkan pH, memperbaiki struktur tanah, mengandung unsur hara yang dibutuhkan tanaman serta mampu menghilangkan pengaruh senyawa beracun. Selain kapur, penambahan bahan organik pada tanah sulfat masam mampu memperbaiki kesuburan tanah.

Perbaikan sifat kimia tanah sulfat masam tidak hanya terbatas pada pemberian amelioran dan pemupukan, diperlukan juga tata kelola air. Pencucian merupakan salah satu alternatif dalam memanfaatkan lahan sulfat masam. Melalui pencucian, diharapkan terjadi pembuangan bahan-bahan beracun dan mengurangi penggunaan kapur untuk menetralkan kemasaman tanah (Santri et al. 2021).

Bahan organik sangat berperan dalam memperbaiki karakteristik tanah tidak hanya secara kimia namun secara fisik dan biologi. Shamsuddin et al. (2004) membandingkan efek kapur dengan penambahan berbagai amandemen organik pada produktivitas kakao di tanah bereaksi masam dan menemukan bahwa bahan organik sama efektifnya dengan aplikasi kapur, baik dengan meningkatkan pH tanah atau dengan mengurangi ketersediaan ion aluminium bebas, yang sangat toksik pada akar tanaman.

Pembukaan lahan pada tanah sulfat masam selalu dibarengi dengan pembuatan saluran air untuk kepentingan transportasi dan drainase/irigasi kawasan tersebut. Tapi dalam

kenyataannya, pengelolaan air tak terkendali dengan baik. Permukaan air tanah turun di bawah permukaan lapisan pirit, terutama pada musim kemarau. Akibatnya terjadi oksidasi senyawa pirit, yang menghasilkan asam sulfat, membuat pH tanah sangat masam. Kemasaman yang rendah tersebut berdampak negatif terhadap sifat kimia tanah dan aktivitas mikroba tanah (Nazemi *et al.*, 2012).

Tanah-tanah yang sudah teroksidasi ini, bila tergenang pada musim hujan, akan terjadi proses reduksi. Proses tersebut meningkatkan pembentukan besi ferro dan sulfida, yang dapat meracuni tanaman. Dilihat dari potensi dan dampaknya, maka tanah tersebut membutuhkan pengelolaan yang tepat dan terintegrasi dari berbagai aspek. Untuk itu perlu dipelajari proses-proses oksidasi dan reduksi dari senyawa pirit tersebut agar diketahui cara-cara pengelolaannya yang sesuai. Jika dikelola dengan menggunakan teknologi tepat guna berdasarkan karakteristik lahannya, lahan sulfat masam dapat dikembangkan sebagai lahan pertanian yang produktif. Peningkatan produktivitas lahan dan produksi tanaman dapat dicapai melalui pengelolaan air dikombinasikan dengan pengelolaan tanah melalui pengapuran, pemupukan dan pemberian kompos.

METODE

Artikel ini membahas pengelolaan tanah sulfat masam untuk lahan pertanian dengan meninjau dari berbagai terbitan artikel publikasi ilmiah dan dari berbagai latar belakang hasil kajian. Tulisan ini menyoroti karakteristik tanah sulfat masam dan pengelolaannya agar tanah tersebut dapat menjadi lahan pertanian dan sebagai media dalam mendukung pertumbuhan tanaman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Tanah Sulfat Masam

Adanya oksidasi pirit merupakan penyebab utama munculnya permasalahan di lahan sulfat masam. Proses oksidasi pirit pada tanah sulfat masam terjadi dalam beberapa tahap dan melibatkan proses kimia serta mikrobiologi. Oksigen terlarut dalam air tanah bereaksi lambat dengan pirit, menghasilkan besi fero (Fe^{2+}) dan sulfat atau unsur belerang. Reaksi tersebut adalah sebagai berikut :



Oksidasi belerang oleh oksigen terjadi sangat lambat, tetapi dengan bantuan bakteri autotrop yang berperan sebagai katalisator, proses berjalan dengan reaksi sebagai berikut:

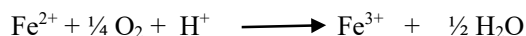


Thiobacillus thiooxidans merupakan bakteri chemolithotrophs yang menggunakan S yang tereduksi sebagai sumber energi. Asam sulfat merupakan hasil akhir dari reaksi tersebut dan menyebabkan pH lingkungan disekitarnya 2 atau kurang. Beberapa bakteri pengoksidasi yang toleran terhadap kemasaman adalah *Thiobacillus ferrooxidans*, *Thiobacillus thiooxidans* pada pH 2-3, dan *Thiobacillus acidophilus* pada pH 1,4.

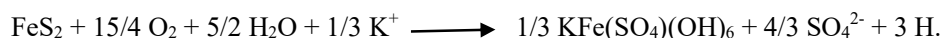
Menurut Dent (1986), kemasaman yang ditimbulkan ditambahkan dengan kemasaman yang terjadi oleh adanya oksidasi besi monosulfat amorf mengakibatkan tanah menjadi masam. Jika pH tanah menjadi lebih rendah dari 4, Fe^{3+} larut dan mengoksidasi pirit dengan kecepatan tinggi. Persamaan reaksi oksidasi pirit oleh Fe^{3+} sebagai berikut :



Dengan adanya oksigen, Fe^{2+} yang dihasilkan dapat berubah menjadi Fe^{3+} . Namun pada pH kurang dari 3,5 oksidasi melalui proses kimia tersebut berlangsung lambat. Fe^{2+} hanya stabil dengan hadirnya O_2 pada pH rendah. Pada pH rendah tersebut redoks potensial lebih besar dari pada pH netral . Pada pH rendah tersebut, bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* mengoksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} dengan cepat dan selanjutnya Fe^{3+} yang dihasilkan terlibat lagi dalam proses oksidasi pirit. Reaksi oksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} dengan bantuan *Thiobacillus ferrooxidans*.



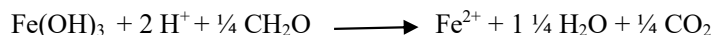
Kemasaman maksimal terbentuk jika proses oksidasi pirit menghasilkan feri hidroksida ($Fe(OH)_3$). Seperti terlihat dalam persamaan reaksi di atas, oksidasi 1 mol pirit menghasilkan 4 mol H^+ . Jika dalam oksidasi pirit terbentuk jarosit, kemasaman yang dihasilkannya hanya 3 mol H^+ setiap satu mol pirit teroksidasi. Reaksi oksidasi pirit yang menghasilkan jarosit adalah sebagai berikut :



Dari uraian proses oksidasi senyawa pirit diatas terlihat bahwa mikroorganisma (bakteri pengoksidasi) sangat berperan sekali dalam proses oksidasi senyawa pirit, baik sebagai pengoksidasi sulfat maupun besi. Tanpa adanya bakteri sebagai katalisator proses oksidasi secara kimia berjalan sangat lambat. Oksidasi yang disebabkan oleh mikroba beberapa ratus kali lipat lebih besar dibanding oksidasi secara kimia. Dalam lingkungan arobik (oksidasi), sulfide dikonversi menjadi sulfat oleh bakteri pengoksidasi sulfur, oksidasi kimia dari sulfide juga terjadi tetapi lebih lambat daripada dengan adanya mikroba. Ini artinya bahwa dampak yang ditimbulkan oksidasi senyawa pirit secara kimia relatif kecil dan berpeluang untuk dapat diatasi dengan upaya penanggulangan yang selama ini diterapkan. Namun adanya bakteri pengoksidasi

menyebabkan oksidasi senyawa pirit menjadi lebih cepat sehingga menghasilkan asam yang lebih banyak (Fahmi, 2010).

Tanah sulfat masam yang telah mengalami oksidasi pada musim kemarau, dapat tergenang pada musim hujan, sehingga merubah kondisi oksidasi menjadi reduksi. Adanya perubahan tersebut akan meningkatkan pH tanah karena adanya penggunaan H^+ dalam reaksi reduksi (Den 1986). Sebagai contoh penggunaan H^+ oleh $Fe(OH)_3$ yang dihasilkan dalam oksidasi pirit, dengan persamaan reaksi sebagai berikut :



Reaksi reduksi berlangsung dengan bantuan bakteri anaerob dan adanya bahan organik sebagai penyumbang elektron. Oleh sebab itu, dibandingkan pada tanah biasa, kecepatan reduksi pada tanah sulfat masam yang digenangi lebih lambat karena kemasaman yang tinggi, rendahnya ketersediaan hara dan bahan organik yang mudah terdekomposisi, atau kombinasi dari kondisi-kondisi tersebut yang mengakibatkan bakteri anaerob kurang mampu berkembang. Hal ini terjadi terutama pada tanah sulfat masam yang telah lanjut sehingga mengandung kristal goetit dan hematit yang stabil sehingga sulit direduksi, sedangkan pada tanah sulfat masam yang muda, kaya akan koloid besi (Damanik dan Hairudin , 2008).

Peningkatan pH tanah menurunkan tingkat aktifitas Al^{3+} . Penurunan aktivitas Al akan menurunkan tingkat toksisitasnya, tetapi dilain pihak kondisi reduktif tersebut dapat mengakibatkan timbulnya ion atau senyawa lain juga bersifat toksik (racun) bagi tanaman, yaitu Fe^{2+} , H_2S , asam organik, dan CO_2 yang larut dalam jumlah tinggi dalam larutan tanah.

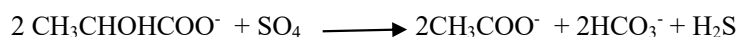
Menurut Fahmi (2010), pada tanah sulfat masam muda, Fe^{2+} yang tinggi mudah terbentuk dan dapat bertahan beberapa bulan, karena tanah disangga oleh sulfat pada pH rendah sehingga Fe^{2+} tetap berada dalam larutan. Peningkatan Fe^{2+} umumnya mencapai puncak setelah 2-5 minggu digenangi. Serapan Fe pada tanaman padi berkorelasi dengan aktivitas Fe^{2+} dalam larutan tanah. Sedangkan pertumbuhan tanaman berkorelasi dengan pH tanah .

Bakteri pereduksi sulfat mereduksi sulfat ke hidrogen sulfida pada lingkungan anaerob. Organisme ini menggunakan campuran organik atau H_2 sebagai sumber elektron untuk mereduksi sulfat. Sedangkan sulfide merupakan hasil oksidasi kimia oleh O_2 . Oksidasi sulfide secara biologi dilakukan oleh bakteri *chmolithptrophic* . Asam-asam organik terbentuk sebagai hasil fermentasi tanah tergenang yang kaya bahan organik, dan ini sangat berbahaya bagi tanaman padi bila konsentrasinya berada 0,1-1 mmol l^{-1} . Biasanya terjadi pada tanah bergambut dengan kimia yang miskin, tanah berpasir dengan besi aktif rendah, dimana pH tetap rendah setelah penggenangan . Tanpa adanya bantuan bakteri, maka reaksi reduksi berjalan sangat lambat. Adanya peran bakteri tersebut dapat dimanfaatkan untuk usaha percepatan peningkatan kualitas lahan sulfat masam.

Adanya proses oksidasi senyawa pirit dan proses reduksi dari hasil oksidasi tersebut membawa berbagai dampak negatif bagi pertumbuhan tanaman dan lingkungan sekitarnya. Karena itu perlu dilakukan upaya penanggulangan agar dampak negatif tersebut dapat ditekan seminimal mungkin. Dalam proses oksidasi-reduksi pada tanah sulfat masam, terlihat betapa besarnya peran dari mikroorganisma, karena itu pendekatan pengelolaan tanah sulfat masam melalui mikroorganisma dapat didekati melalui:

1. Mencegah atau memperlambat terjadi proses oksidasi, yaitu mencegah kerja dari bakteri pengoksidasi tersebut, melalui:
 - a. Pemberian bakterisida. Aktivitas bakteri pengoksidasi dapat ditekan melalui pemberian bakterisida yang spesifik. Bakterisida seperti Panasida (*2,2'-dyhydrpxy 5,5' dichlorophenylmethane*) dan deterjen efektif mencegah kerja bakteri pengoksidasi *Thiobacillus ferrooxidans*. Pemberian NaN_3 dan N-ethylmaleimide mampu menghambat oksidasi Fe^{2+} dan S^0 .
 - b. Mengurangi suplai oksigen melalui penggenangan, sehingga kerja bakteri pengoksidasi terhambat. Udara mempercepat oksidasi S yang menyebabkan pH turun kurang dari 1. Kemasaman ini menyebabkan masalah pada organisme lain dan melarutkan logam-logam berat, sehingga lahan tidak layak digunakan untuk pertanian, tetapi berguna untuk menghambat *Streptomyces scabies* penyebab penyakit pada kentang. Dent (1986) menyebutkan bahwa kondisi optimum untuk oksidasi pirit sama dengan kondisi optimum untuk oksidasi besi oleh *Thiobacillus ferrooxidans*, temperatur 5-55°C (optimal 30°C), pH 1.5-5.0 (optimal 3.3).
 - c. Pemberian kapur, sehingga pH meningkat di atas 5,0 akibatnya aktivitas bakteri pengoksidasi terhambat, karena meningkatnya populasi bakteri lainnya yang dapat menyaingi dalam pengambilan berbagai kebutuhan hidupnya seperti oksigen dan lainnya. Menurut Suriadikarta (2005), terjadi suksesi bakteri dengan perubahan pH tanah. pH yang cocok untuk habitat *Thiobacillus ferrooxidans* adalah 1,5-3,5, dengan suhu optimal 30-35°C. Pada pH 3,5-4,5 didominasi oleh bakteri *metalogenium*, sedangkan pada pH netral didominasi oleh bakteri *Thiobacillus thioparus*. Selain itu, adanya ion Ca yang berasal dari kapur akan menetralkan ion sulfat membentuk gipsium (CaSO_4) sehingga menurunkan aktivitas ion sulfat. Bakteri pengoksidasi pirit lainnya seperti *Leptospirillum ferrooxidans* atau genus *Metallogenium* gagal diisolat.
2. Mempercepat proses reduksi sulfat dan besi, dengan menciptakan kondisi lingkungan yang diperlukan oleh bakteri tersebut. Menurut Pons (1970), reduksi sulfat tersebut dimedia oleh organisme yang diketahui secara kolektif sebagai bakteri

pereduksi sulfur (SRB). SRB merupakan bakteri obligat anaerob yang menggunakan H₂ atau bahan organik sebagai donor elektron (*chemolithotrophic*). Kelompok organisme pereduksi sulfat ini secara generik diberi nama awal dengan “*desulfo*”, dimana SO₄²⁻ sebagai aseptor elektron. Bakteri tersebut berasal dari genus *Desulfovibrio* dan *Desulfotomaculum* yang merupakan organisme heterotrophic, yang menggunakan sulfate, thiosulphate (S₂O₃) dan sulfide (SO₃⁻) atau ion yang mengandung sulfur tereduksi sebagai terminal aseptor elektron dalam proses metabolisme. Bakteri tersebut memerlukan substrat organik yang berasal dari asam organik berantai pendek seperti asam laktat atau asam piruvat. Dalam kondisi alamiah, asam tersebut dihasilkan oleh aktivitas fermentasi dari bakteri anaerob lainnya. Laktat digunakan oleh SRB selama respirasi anaerobik untuk menghasilkan acetat dengan reaksi berikut:



H₂S tersebut berguna untuk mengendapkan Cu, Zn, Cd sebagai metal sulfide. Bakteri pereduksi sulfat dapat mereduksi sulfat pada kondisi anaerob menjadi sulfida, selanjutnya dapat mengendapkan logam-logam toksik sebagai logam sulfida. Dua gas terpenting adalah SO₂ dan H₂S. SO₂ dari lahan basah bergabung dengan yang berasal dari industri dapat membentuk formasi hujan asam. Pada kondisi aerobik, H₂S mungkin dikonsumsi oleh pengoksidasi S, dimana SO₂ diserap secara kimia.

2. Ameliorasi Dan Pemupukan

Ameliorasi tanah sulfat masam untuk memperbaiki sifat kimia dan fisik tanah harus dilakukan terlebih dahulu sebelum pemupukan dilaksanakan. Pemupukan tanpa perbaikan tanah tidak akan efisien bahkan tidak respon. Produktivitas tanah sulfat masam biasanya rendah, disebabkan oleh tingginya kemasaman (pH rendah), kelarutan Fe, Al, dan Mn serta rendahnya ketersediaan unsur hara terutama P dan K dan kejenuhan basa yang dapat mengganggu pertumbuhan tanaman (Dent, 1986). Oleh karena itu tanah seperti ini memerlukan bahan pembenah tanah (amelioran) untuk memperbaiki kesuburan tanahnya sehingga produktivitas lahannya meningkat. Bahan amelioran yang dapat digunakan adalah kaptan, *Rock Phosphate* dan bahan organik.

Kaptan digunakan untuk meningkatkan pH tanah sedangkan *Rock Phosphate* untuk memenuhi kebutuhan hara P-nya. Bahan organik dapat berperan sebagai sumber asam-asam organik yang mampu mengontrol kelarutan logam di dalam tanah ataupun berperan sebagai sumber hara bagi tanaman. Asam-asam organik mampu mengkhelat unsur-unsur meracun di dalam tanah sehingga menjadi tidak berbahaya bagi tanaman. Asam-asam organik mampu menurunkan jumlah fosfat yang difiksasi oleh Fe dan Al melalui mekanisme pengkelatan

sehingga P tersedia bagi tanaman (Barker dan Pilbeam, 2007). Hasil penelitian Purwanto *et al.*(2009) pemberian bahan organik jerami padi yang mengalami perubahan lanjut atau C/N rendah dapat menurunkan kelarutan Fe^{2+} di tanah sulfat masam.

Jumlah kapur yang diberikan disesuaikan dengan kebutuhan tiap jenis tanah, dan jenis tanaman yang akan diusahakan dapat berfungsi (1) meredam (*alleviate*) reaksi masam tanah untuk waktu lama dan mengubahnya menjadi tidak masam; (2) menyingkirkan bahaya keracunan Al (tanda keracunan Al, akar membengkak, gagal berkembang dengan baik, dan kehilangan daya serap air dan hara); (3) meradam bahaya keracunan besi, mangan, dan anasir senyawa organik; (4) menurunkan daya fiksasi P sekaligus membebaskan P yang semula diikat kuat; (5) meningkatkan ketersediaan basa; (6) memperlancar serapan unsur hara dari tanah; dan (7) meningkatkan respon tanaman terhadap upaya pemupukan (Suryadikarta,2005).

Penetapan kebutuhan kapur untuk tanah sulfat masam dapat dilakukan melalui beberapa metode, yaitu : 1) kebutuhan kapur berdasarkan metode inkubasi, 2) metode titrasi, dan 3) berdasarkan Al-dd. Penetapan kebutuhan kapur dengan metode inkubasi dilakukan dengan mencampurkan kapur dan tanah serta air dalam beberapa dosis kapur selama beberapa waktu tertentu, biasanya dari satu minggu sampai beberapa minggu. Lalu kebutuhan kapur ditentukan pada nilai pH tertentu.

Penetapan kebutuhan kapur berdasarkan metode titrasi dengan NaOH 0,05 N untuk mencapai pH tertentu lebih rendah jika dibandingkan dengan metode inkubasi dan Al-dd KCl 1 N, tetapi cara ini lambat tidak sesuai untuk analisis rutin (Al-Jabri, 2002). Walaupun kebutuhan kapur dengan metode titrasi lebih rendah, tetapi sebagian besar dari kemasaman tanah tidak dinetralsir oleh basa. Hal ini disebabkan reaksi antara kation-kation asam yang dapat dititrasi berlangsung sangat lambat. Penetapan kebutuhan kapur berdasarkan Al-dd KCl 1,0 N banyak dipertanyakan, sebab tingkat keracunan Al bervariasi dengan tanaman dan tanah. Karena tingkat keracunan untuk suatu jenis tanaman mempunyai variasi lebar dalam tanah yang berbeda maka Al-dd tidak digunakan sebagai parameter yang menentukan keracunan tetapi persentase kejenuhannya.

Hasil penelitian di rumah kaca dan lapangan ternyata pemberian dosis kapur berdasarkan titrasi dan inkubasi dapat diaplikasikan pada tanah sulfat masam potensial bergambut di Lamunti ex. PLG Kalimantan Tengah, tanah sulfat masam umumnya ketersediaan hara P dan K rendah namun bila bahan organiknya tinggi maka P dan K biasanya tinggi pula . Pada tanah sulfat masam aktual kadar P dan K dalam tanah sangat rendah sehingga pemupukan P dan K sangat diperlukan. Pemupukan P diberikan 100 kg TSP/ha atau 125 kg SP-36/ha yang setara dengan 200 kg RP/ha .*Rock Phosphate* yang baik mutunya untuk tanah ini adalah *Rock Phosphate* Maroko Ground

karena mempunyai kandungan Ca yang tinggi yaitu 27,65% dan kadar P_2O_5 total 28,8% . Hasil penelitian di lahan rawa menunjukkan pupuk kalium cukup diberikan 100 kg KCl/ha untuk tanaman padi sawah (Suriadikarta, 2005).

Pemupukan P-alam hingga 60% erapan maksimum P dalam tanah sulfat masam Sumber Agung dan Sumber Rejo di Pulau Rimau, Sumatera Selatan dapat meningkatkan kadar P tersedia, namun belum dapat menurunkan kadar unsur beracun Fe^{2+} , Fe-Al oksida, dan amorf serta sulfat dalam tanah. Unsur beracun diatas ditemukan dalam jumlah yang lebih tinggi pada tanah sulfat masam potensial yang baru teroksidasi dibandingkan tanah sulfat masam actual (Tim Sintetis Kebijakan, 2008). Oleh karena itu diperlukan kehati-hatian dalam mereklamasi atau melakukan pencucian/drainase di tanah sulfat masam potensial, apalagi jika kandungan liat tinggi. Lebih lanjut ia menyatakan bahwa erapan P maksimum pada tanah sulfat masam aktual mencapai 2,000 μg P/g sedangkan pada sulfat masam potensial sedikit lebih rendah yaitu sekitar 1,666 μg P/g. Nilai erapan maksimum yang tinggi pada sulfat masam aktual dari pada sulfat masam potensial diakibatkan perbedaan kadar dan jenis liat, kadar pirit, pH, Al dan Fe, serta bahan organik.

Ditinjau dari distribusi bentuk P-anorganik pada tanah sulfat masam, bahwa fraksi Fe-P dan Al-P mendominasi jumlah P anorganik pada tanah sulfat masam potensial sedangkan fraksi Al-P dan Ca-P dominan pada sulfat masam aktual. Faktor-faktor yang mempengaruhi ketersediaan P pada tanah sulfat masam antara lain pH, Al, Fe, dan pirit. Tingginya kadar Fe dan Al bentuk amorf pada tanah sulfat masam mempengaruhi distribusi fraksi P anorganik (Al-Jabri, 2002).

3. Pengelolaan Air

Sistem pengelolaan tata air yang dilakukan pada tanah sulfat masam adalah pengelolaan tata air mikro yaitu berfungsi untuk: 1) mencukupi kebutuhan evapotranspirasi tanaman, 2) mencegah pertumbuhan gulma pada pertanaman padi sawah, 3) mencegah terbentuknya bahan beracun bagi tanaman melalui penggelontoran dan pencucian, 4) mengatur tinggi muka air, dan (5) menjaga kualitas air di petakan lahan dan saluran. Untuk memperlancar keluar masuknya air pada petakan lahan yang sekaligus untuk mencuci bahan beracun, Hadi (2004) menganjurkan pembuatan saluran cacing pada petakan dan di sekeliling petakan lahan. Oleh karena itu, pengelolaan tata air mikro mencakup pengaturan dan pengelolaan tata air pada saluran kuarter dan petakan lahan yang sesuai dengan kebutuhan tanaman dan sekaligus memperlancar pencucian bahan beracun.

Menurut Suriadikarta (2005), saluran kuarter biasanya dibuat di setiap batas pemilikan lahan, sedangkan saluran cacing di dalam petakan dengan jarak 3–12 m serta di sekeliling petakan, bergantung pada kondisi lahan. Semakin tinggi tingkat keracunan, semakin rapat pula jarak saluran cacing tersebut. Pencucian bahan beracun dari petakan dilakukan dengan

memasukkan air ke petakan sebelum tanah dibajak, kemudian air tersebut dikeluarkan setelah pengolahan tanah selesai. Pencucian akan berjalan baik bila air cukup tersedia, baik dari hujan maupun air pasang. Oleh karena itu, air di dalam petakan lahan perlu diganti setiap dua minggu pada saat pasang besar. Pengelolaan air pada saluran tersier bertujuan untuk: 1) memasukkan air irigasi, 2) mengatur tinggi muka air pada saluran dan petakan, dan 3) mengatur kualitas air dengan membuang bahan beracun yang terbentuk di petakan serta mencegah masuknya air asin ke petakan lahan.

Sistem pengelolaan air di tingkat tersier dan mikro bergantung pada tipe luapan air pasang dan tingkat keracunan Pada lahan sulfat masam aktual, system pengairannya harus ditabat dan tidak disurjan agar besi dan pirit tidak meracuni tanaman. Penataan air di lahan petani dilakukan dengan sistem aliran satu arah (*one-way flow system*) dan sistem aliran bolak-balik (*two-way flow system*). Hal yang perlu mendapat perhatian khusus dalam sistem tata air adalah sinkronisasi antara tata air makro dan mikro (Hadi, 2004). Penerapan aliran satu arah hanya akan berjalan efektif jika kondisi saluran tersier, sekunder, dan primer dalam kondisi baik dan arah aliran tidak bolak-balik. Pada sistem aliran satu arah, saluran irigasi dan saluran drainase dirancang secara terpisah. Pintu klep (*flapgate*) dipasang berlawanan arah. Pada saluran irigasi, pintu klep membuka ke arah dalam sedangkan pada saluran drainase pintu klep membuka ke arah luar sehingga pencucian lahan berlangsung efektif.

Tata air pada lahan yang bertipe luapan A dan B perlu diatur dalam system aliran satu arah, sedangkan untuk lahan bertipe luapan C dan D, saluran air perlu ditabat (disekat) dengan *stoplog* untuk menjaga permukaan air sesuai dengan kebutuhan tanaman serta memungkinkan air hujan tertampung dalam saluran tersebut. Tata air ini memerlukan pintu-pintu yang berfungsi sebagai pengendali air. Pintu air tersebut dapat berupa *stoplog* maupun pintu ayun atau pintu engsel (*flapgate*). Di Karang Agung Ulu, penerapan pengelolaan tata air mikro pada lahan sulfat masam dengan berbagai system penataan lahan dapat meningkatkan kualitas lahan dan hasil tanaman (Tim Sintetis Kebijakan, 2008).

Penerapan pengelolaan tata air dengan sistem tabat dan aliran satu arah dikombinasikan dengan pengolahan tanah dengan traktor tangan dan pemberian dolomit pada lahan sulfat masam (50 ha), dapat secara cepat meningkatkan kualitas lahan dan hasil tanaman padi dan palawija . Nilai pH air tanah meningkat dari rata-rata 4,20 sebelum pengolahan tanah menjadi 4,80 pada saat penanaman dan 5,40 pada saat panen . Kandungan Fe^{++} juga menurun dari 160 ppm pada saat tanam menjadi 72 ppm pada panen.

4. Penataan Lahan

Penataan lahan dimaksudkan untuk menciptakan kondisi lahan agar sesuai dengan kebutuhan tanaman yang akan dikembangkan. Penataan lahan perlu memperhatikan hubungan antara tipologi lahan, tipe luapan, dan pola pemanfaatannya. Pada tipologi sulfat masam potensial dengan tipe luapan A, penataan lahan sebaiknya untuk sawah (Tabel 1), karena pirit akan lebih stabil (tidak mengalami oksidasi) dan tanaman padi dapat tumbuh dengan baik. Pada tipe luapan B, pola pemanfaatan lahan dilakukan dengan sistem surjan untuk tanaman padi, palawija, sayuran atau buah-buahan. Untuk tanah sulfat masam potensial, pengolahan tanah dan pembuatan guludan sebaiknya dilakukan secara hati-hati dan bertahap. Tanah untuk guludan diambil dari lapisan atas untuk menghindari oksidasi pirit (Suriadikarta, 2005).

Tabel 1. Penataan dan Pola Pemanfaatan Lahan Berdasarkan Tipologi Lahan dan Tipe Luapan Air di Lahan Pasang Surut.

Tipologi Lahan		Pemanfaatan Lahan pada Tipe Luapan Air			
Kode	Tipologi	A	B	C	D
SMP-1	Aluvial bersulfida dangkal	Sawah	Sawah	Sawah	-
SMP-2	Aluvial bersulfida dalam	Sawah	Sawah (surjan)	Sawah (surjan)	Sawah (tegalan,kebun)
SMP-3/A	Aluvial bersulfida sangat dalam	-	Sawah (surjan)	Sawah (tegalan,kebun)	Tegalan (kebun)
SMA-1	Aluvial bersulfat-1	-	Sawah (surjan)	Sawah (surjan)	Sawah (tegalan,kebun)
SMA-2	Aluvial bersulfat-2	-	Sawah (surjan)	Sawah (surjan)	Sawah (tegalan,kebun)
SMA-3	Aluvial bersulfat-3	-	-	Sawah (kebun)	Tegalan (kebun)
HSM	Aluvial bersulfida dangkal bergambut	-	Sawah	Sawah (tegalan)	Tegalan (kebun)

Keterangan: SMP(Sulfat Masam Potensial), SMA(Sulfat Masam Aktual), HSM (Histosol SulfatMasam). Sumber:Suryadikarta (2005)

KESIMPULAN

Pengembangan lahan rawa memerlukan perencanaan pengelolaan dan pemanfaatan yang baik dan memerlukan penerapan teknologi yang sesuai, terutama pengelolaan tanah dan air yang tepat. Pemanfaatan tanah sulfat masam yang bijak, pengembangan yang seimbang dan pengelolaan yang sesuai dengan karakteristik, sifat dan kelakuannya, maka diharapkan dapat mengembalikan lahan sulfat masam menjadi lahan pertanian yang berproduktivitas tinggi, berkelanjutan dan berwawasan lingkungan . Teknologi pengelolaan tanah dan air yang dapat diterapkan antara lain adalah teknologi pengelolaan tanah, tata air mikro, teknologi ameliorasi tanah dan pemupukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Jabri, M. 2002. Penetapan Kebutuhan Kapur dan Pupuk Fosfat untuk Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.) pada Tanah Sulfat Masam Aktual Belawang, Kalimantan Selatan. Disertasi. Program Pascasarjana. Universitas Padjadjaran Bandung.
- Barker. A.V and Pilbeam. D.J. 2007. Hand Book of Plan Nutrotion. CRC Press. New York. 612p.
- Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya lahan Pertanian. 2006. Karakteristik dan Pengelolaan Lahan Rawa. Badan Penelitian Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian. Edisi Pertama. ISBN 974-9474-52-3.
- Damanik. Z dan Hanudin. E. 2008. Peranan bahan organik dan fosfat terhadap Kimia permukaan dan oksidasi pirit. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan* . 8(1) : 56-66.
- Dent, D. 1986. Acid Sulphate Soils: a. baseline for research and development. ILRI. Wageningen. Publ. No. 39 The Netherlands. 204 p.
- Fahmi, A. 2010. Pengaruh pemberian jerami padi terhadap pertumbuhan tanaman padi di tanah sulfat masam. *Jurnal Berita Biologi*. 10(1): 7-14.
- Fahmi, A dan Hanudin, K. 2008. Pengaruh kondisi redoks terhadap stabilitas kompleks organik-besi pada tanah sulfat masam. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan* . 8(1): 49-55.
- Hadi, R. 2004. Teknik Pencegahan Oksidasi Pirit dengan Tata Air Mikro Pada Tata Usahatani Jagung Di Lahan Pasang Surut. *Buletin Teknik Pertanian*. 9(2) : 61-65.
- Nazemi D, Hairani A, dan Indrayati L. 2012. Prospek Pengembangan Penataan Lahan Sistem Surjan Lahan Pasang Surut. *Agrovigor* 2(5):113-118.
- Notohadikusumo, T, Maas, A, dan Noor, M. 2003. Pengaruh Pelindian dan Perbaikan Aerasi Terhadap Sifat Kimia Tanah Sulfat Masam Kalimantan. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan* . 4(1) : 1-14.
- Purwanto, B.H, Radjagukguk, B, dan Fahmi, A. 2009. Kelarutan fosfat dan fero pada tanah sulfat masam yang diberi bahan organik jerami padi. *Jurnal Tanah Tropika*. 14(2):119-125.
- Pons, L.J. 1970. Acid Sulphate Soils (soils with cat-clay phenomena) and the Prediction of their Origin from Pyrite Muds. *Fysisch. Geograf. En Bodemkunde. Lab. Publ. No. 16, Amsterdam, The Netherlands*.
- Santri JA, Maas A, Utami SNH, Yusuf WA. 2021. Pencucian dan Pemupukan Tanah Sulfat Masam untuk Perbaikan Sifat Kimia dan Pertumbuhan Padi. *Jurnal Tanah dan Iklim* 45 (2): 95-108.
- Shamshuddin J, Muhrizal S, Fauziah I, Husni M H A. 2004. Effects of adding organic materials to an acid sulfate soil on the growth of cocoa (*Theobroma cacao* L.) seedlings. 323: 33–45.
- Suriadikarta, D.A. 2005. Pengelolaan lahan sulfat masam untuk lahan pertanian. *Jurnal Litbang Pertanian*. 24(1) : 36-45.
- Soil Survey Staff. 2014. Kunci Taksonomi Tanah. Edisi Ketiga, 2015. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor.
- Tim Sintetis Kebijakan. 2008. Pemanfaatan lahan sulfat masam berwawasan lingkungan dalam mendukung peningkatan produksi beras nasional. *Pengembangan Inovasi Pertanian*. 1(2) : 129-131.
- Vieira F C B, He Z L, Bayer C, Stoffe`lla P J, Baligar V C. 2008. Organic amendment effects on the transformation and fractionation of aluminum in acidic sandy soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39(17–18), 2678–2694.