

REMEDIASI LAHAN RAWA DENGAN BAHAN ORGANIK

Wahida Annisa, Koesrini, dan Hendri Sosiawan

Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa (BALITTRA), Banjarbaru.

Email: annisabalittra77@gmail.com

RINGKASAN

Lahan rawa merupakan ekosistem yang unik dan rapuh, sehingga apabila ingin dikelola sebagai lahan pertanian perlu dilakukan dengan sangat hati-hati dengan tetap memerhatikan karakteristik tanah dan lingkungannya yang bersifat sangat spesifik. Tanah di lahan rawa ada yang berpotensi sulfat masam yang pengelolaannya sangat ditentukan oleh pengelolaan bahan organik. Sulfida dalam tanah sulfat masam dibentuk dari sulfat dalam air laut atau air tawar dalam kondisi anaerob oleh bakteri pereduksi sulfat, yang membutuhkan bahan organik sebagai sumber energi yang bereaksi dengan Fe (II) terlarut untuk membentuk pirit. Oksidasi bahan sulfat melepaskan asam dan logam terlarut yang dapat memiliki efek merusak pada kualitas tanah dan air. Remediasi bahan sulfur dan pencegahan oksidasi bahan sulfida di tanah rawa perlu menjadi perhatian. Strategi perbaikan konvensional, seperti pengapuran dan menutupi bahan sulfida dengan air atau tanah non sulfat masam mahal atau tidak praktis. Bahan organik adalah sumber energi untuk reduksi sulfat, yang memainkan peran penting dalam pembentukan bahan sulfida dan menghasilkan alkalinitas selama reduksi sulfat yang memengaruhi oksidasi pirit melalui konsumsi oksigen oleh bakteri pengurai bahan organik, kompleksasi besi, dan pelapisan pirit. Permasalahan adalah ketersediaan bahan organik lokal di lahan sulfat masam masih sangat terbatas. Penggunaan bahan organik dapat menjadi pilihan yang ekonomis dan ramah lingkungan untuk pemulihan lahan rawa yang berpotensi sulfat masam.

I. PENDAHULUAN

Pengembangan lahan rawa ke depan menjadi semakin penting, dengan semakin menyusutnya luas lahan pertanian di Indonesia. Luas lahan rawa di Indonesia diperkirakan sekitar 33,4 juta ha, yang terdiri atas lahan pasang surut sekitar 20 juta ha dan rawa lebak 13 juta ha. Namun secara

alami, ekosistem rawa bersifat rapuh (*fragile*). Reklamasi atau konversi lahan rawa, untuk pertanian mencakup tindakan drainase dan pembukaan lahan yang dengan sendirinya menghasilkan perubahan-perubahan dalam sifat fisik, kimia dan biologi tanah rawa tersebut. Oksidasi bahan-bahan reduktif akan menghasilkan dekomposisi bahan tersebut yang umumnya ditandai dengan pemasaman tanah, yang pada akhirnya berdampak negatif terhadap pertumbuhan tanaman (Maas 2014). Oleh karena itu, kegiatan pertanian yang dikembangkan di lahan rawa harus berorientasi pada sistem usahatani yang mengutamakan kelestarian lingkungan dan berkelanjutan.

Bahan organik memiliki peran penting dalam menentukan kemampuan tanah untuk mendukung tanaman sehingga jika kadar bahan organik tanah menurun, kemampuan tanah dalam mendukung produktivitas tanaman juga menurun. Menurunnya kadar bahan organik merupakan salah satu bentuk kerusakan tanah yang terjadi.

Di lahan rawa bahan organik berfungsi untuk mempertahankan kondisi reduksi tanah karena bahan organik merupakan substrat bagi mikroorganisme tanah dalam mereduksi besi ferri menjadi besi ferro, sehingga oksidasi pirit dapat ditekan. Siklus bahan organik merupakan proses yang sangat penting bagi dinamika dan keseimbangan hara yang diperlukan tanaman yang dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu kondisi iklim, jenis tanah, jenis tanaman pangan, dan pengelolaannya. Oleh karena itu, pengelolaan bahan organik tanah dengan pengembalian sisa panen ataupun penambahan pupuk organik berupa kotoran ternak maupun kompos tanaman dapat meningkatkan dan mempertahankan produktivitas lahan. Secara umum masyarakat lokal masih menggunakan amelioran berupa bahan organik dan pengelolaannya dilakukan pada kondisi tergenang yang mengakibatkan terjadinya proses dekomposisi anaerobik dan bakteri metanogen hidup pada kondisi tersebut. Phenomena alam serta informasi versi masyarakat yang diramu dengan pengetahuan ilmiah menjadi wawasan yang dijadikan sebagai bahan pertimbangan ke depan dalam mendayagunakan lahan rawa secara lestari dan berkelanjutan.

II. POTENSI DAN SEBARAN LAHAN RAWA

Luas lahan rawa di Indonesia adalah 33.41 juta ha yang tersebar di empat pulau besar, yaitu Sumatra, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua. Menurut Ritung *et al.* (2011) dari luas total lahan rawa sebesar 20.13 juta

ha adalah lahan rawa pasang surut yang terdiri atas lahan gambut sekitar 10.90 juta ha, lahan potensial 2.07 juta ha, lahan sulfat masam potensial 4.34 juta ha, lahan sulfat masam aktual 2.37 juta ha, dan luas lahan salin 0.44 juta ha. Lahan rawa dibedakan ke dalam tiga zone berdasarkan batas pengaruh air pasang surut di musim hujan dan pengaruh air salin (payau) di musim kemarau, yaitu (1) rawa pasang surut air payau (salin), (2) rawa pasang surut air tawar, dan (3) rawa nonpasang surut. Menurut ayunan pasang surut air laut yang memengaruhi sungai dan luapan sungai tersebut pada lahan. Lahan rawa merupakan lahan yang selalu basah dalam setahun, sehingga cocok untuk dikembangkan menjadi lahan sawah. Saat ini sebagian besar lahan sudah dimanfaatkan dan cukup produktif, namun sebagian juga masih menjadi lahan terlantar. Potensi lahan pasang surut untuk pengembangan lahan sawah ditampilkan pada Tabel 21.

Tabel 21. Luas lahan rawa dan potensi untuk lahan sawah

No	Pulau	Potensi Luasan Lahan Rawa	Potensi Pertanian Padi Sawah
1	Sumatera	9.390.000	6.851.997
2	Kalimantan	11.707.000	3.268.709
3	Papua	10.522.710	2.105.105
4	Sulawesi	1.793.450	680.874
TOTAL		33.413.560	12.906.685

Sumber: BPSOLP (2015)

Widjaya Adhi *et al.* (1987) membagi lahan rawa menjadi: (1) tipe luapan A, yaitu lahan yang selalu terluapi air pasang, baik saat pasang besar maupun pasang kecil; (2) tipe luapan B yaitu lahan yang hanya terluapi saat pasang besar saja; (3) tipe luapan C yaitu lahan yang tidak terluapi air pasang, hanya air tanah masih dekat permukaan tanah < 50 cm; (4) tipe luapan D yaitu lahan yang tidak pernah terluapi air pasang dan air tanah > 50 cm dari permukaan. Dalam satuan kawasan rawa pasang surut terdapat sekitar 10-20% wilayah tipe luapan A, 20-30% wilayah tipe luapan B dan D dan 60-70% wilayah tipe luapan C. Dilihat dari sifat tanah dan kendalanya dalam pengembangan pertanian, lahan rawa dibagi dalam empat tipologi lahan, yaitu (1) lahan potensial yaitu lahan dengan kendala yang lebih ringan dibandingkan tipologi lainnya; (2) lahan sulfat masam, yaitu lahan dengan kendala yang lebih berat karena pirit berada pada kedalaman antara 50-100 cm dan sebagian lagi pada kedalaman > 100

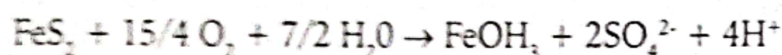
cm dengan pH tanah $< 4,5$ dan kadar besi yang tinggi, (3) lahan gambut karena adanya lapisan gambut pada lapisan atas setebal > 50 cm dengan kadar bahan organik $> 20\%$ dan (4) lahan salin karena memiliki kendala berupa salinitas akibat intrusi air laut dan umumnya tekstur pasir karena berada pada dataran pantai (*coastal plain*).

III. PERMASALAHAN DI LAHAN RAWA

Lahan rawa pasang surut merupakan lahan marginal dan bersifat rapuh dengan kendala utamanya adalah tanah masam dan kandungan hara serta basa-basa relatif rendah serta genangan air yang tidak dapat dikendalikan. Purnomo *et al.* (2005) melaporkan bahwa ada beberapa permasalahan yang ditemui di lahan rawa dari segi kesuburan tanah, yaitu (1) Rendahnya pH tanah dan kandungan hara terutama P, (2) Ketersediaan unsur hara Fe dan Al yang tinggi, dan (3) Genangan air yang tidak dapat dikendalikan. Berdasarkan kelas kesesuaian lahan, sebagian besar lahan pasang surut hanya tergolong sesuai (S2) sampai sesuai terbatas (S3) untuk tanaman padi, sehingga salah satu anjuran pemanfaatan tanah di lahan rawa adalah disawahkan. Padi (sawah) adalah tanaman yang banyak dikembangkan di lahan rawa pasang surut. Sedangkan untuk tanaman pangan lainnya seperti ubikayu, kedelai dan jagung, faktor pembatasnya banyak dan tergolong ke dalam kelas kesesuaian lahan sesuai terbatas (S3). Kemasaman merupakan penciri utama dari tanah di lahan rawa. Reaksi tanah di lahan rawa tergolong masam sampai luar biasa masam yang berkisar pada pH 4 (kelompok jenis tanah *Sulfaquents*) dan pH $< 3,5$ (kelompok jenis tanah *Sulfaquepts*). Kondisi lingkungan seperti ini tidak mendukung pertumbuhan optimum padi. Tanaman padi dapat tumbuh normal pada kisaran pH optimum antara 5,0-6,5 (Annisa 2014). Kemasaman tanah yang tinggi setelah reklamasi mengimbas terhadap peningkatan kelarutan unsur-unsur meracun seperti: Al, Fe, dan Mn. Peningkatan kelarutan unsur meracun tersebut diiringi dengan kahat hara makro (P, Ca, Mg, K) dan hara mikro (Cu dan Zn) (Notohadiprawiro 2000).

Proses utama yang terjadi bila tanah di lahan rawa teroksidasi adalah oksidasi pirit yang berkaitan dengan kadar aluminium. Kelarutan aluminium akan meningkat drastis pada kondisi yang sangat masam (pH < 4). Peningkatan kadar Al^{3+} beberapa kali lipat setiap penurunan satu unit pH. Kadar Al yang cukup rendah berkisar antara 1-2 mg kg⁻¹ sudah dapat meracuni tanaman. Keracunan Al akan menghambat pertumbuhan akar,

akar akan menebal, tidak dapat memanjang dan tidak bercabang normal. Besi (Fe) yang sering menimbulkan masalah dalam bentuk *ferro* (Fe^{2+}) yang menyebabkan keracunan bagi tanaman, khususnya dalam kondisi tergenang (Noor 2004). Hal ini disebabkan karena beberapa minggu setelah tergenang, konsentrasi Fe^{2+} pada tanah sulfat masam meningkat karena reduksi senyawa *ferric* (Fe^{3+}) menjadi *ferro* (Fe^{2+}) oleh bakteri *Thiobacillus* sebagai akibat dari *over drainage* yang ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut.



Reklamasi lahan dengan pembuatan saluran drainase akan mengubah kondisi alami yang reduktif ke oksidatif. Kondisi tersebutlah memungkinkan terjadinya oksidasi pirit yang kemudian menghasilkan senyawa asam sulfat yang sangat masam. Pemasaman akibat oksidasi pirit menjadi kendala utama dalam pengelolaan lahan pasang surut. Pada kondisi tergenang keracunan Fe lebih sering terjadi dibandingkan keracunan Al (Dobermann and Fairhurst 2000). Hal ini disebabkan karena pada keadaan tergenang Al^{3+} mempunyai hubungan erat dengan proses reduksi Fe^{3+} . Ion OH^- yang dilepaskan dalam proses reduksi akan bereaksi dengan Al terlarut menjadi Al hidroksida yang sukar larut, sehingga tanah sawah jarang mengalami keracunan Al kecuali bila proses reduksi berlangsung lambat. Kekahatan hara pada tanah di lahan rawa umumnya disebabkan oleh rendahnya pH larutan tanah, sehingga lingkungan menjadi masam. Hal tersebut mengakibatkan terganggunya transformasi unsur hara seperti hara N dan P dari bentuk organik menjadi bentuk inorganik. Selain itu juga penyematan N bebas secara simbiotik maupun non simbiotik terganggu. Hal ini disebabkan karena pergantian populasi mikroorganisme, begitu kemasaman tanah meningkat. Kekahatan P terutama disebabkan karena tersematnya P pada fraksi Al dan Fe terlarut dalam suasana masam. Dalam keadaan reduktif bentuk P dalam ikatan Fe-P mungkin juga Al-P lepas, menjadi bentuk tersedia setelah penggenangan bertahap. Banyaknya kendala-kendala kimia yang dihadapi pada tanah di lahan rawa mengakibatkan produktivitas tanah menjadi rendah, sehingga tanah di lahan rawa tergolong ke dalam tanah piasan dan agar tanah ini dapat dimanfaatkan untuk tanaman budi daya diperlukan pengelolaan dan masukan yang tepat. Salah satunya dengan penambahan bahan pembenah tanah untuk memperbaiki kesuburan tanahnya sehingga produktivitasnya dapat meningkat.

IV. BAHAN ORGANIK DI LAHAN RAWA

Bahan organik tanah adalah komponen dari ekosistem tanah yang sangat berpengaruh karena merupakan sumber karbon terestrial global. Pada tanah tergenang bahan organik berperan tidak hanya sebagai sumber hara bagi tanaman tetapi juga merupakan substrat bagi mikroorganisme anaerob. Annisa dan Nursyamsi (2016) mengatakan bahwa bahan organik memiliki fungsi untuk mempertahankan kondisi reduktif dan untuk mengkelat unsur-unsur beracun dalam tanah asam sulfat yang diperkuat dengan hasil penelitian yang menunjukkan ada korelasi negatif antara nilai Eh dengan konsentrasi Fe dengan nilai korelasi $r = -0.856$ (Annisa 2014). Baldwin and Fraser (2009); Dear *et al.* (2002); Fitzpatrick *et al.* (2009) mengatakan bahwa bahan organik bahan remediasi melalui stimulasi bakteri pereduksi sulfat atau memperlambat oksidasi pirit. Proses dekomposisi akan berjalan lambat apabila bahan organik yang dikomposkan memiliki kandungan lignin yang tinggi ($>20\%$). Pada tanah tergenang tingginya kandungan lignin dalam bahan organik juga mengakibatkan hilangnya peranan dari bahan organik tersebut sebagai donor elektron dalam proses reduksi. Faktor yang memengaruhi kecepatan dekomposisi bahan pada kondisi anaerob, yaitu ratio C/N bahan, ukuran bahan, kelembapan dan aerasi, campuran bahan, temperature, keasaman (pH) dan mikroba yang bekerja (dekomposer). Prinsip pengomposan adalah menurunkan rasio C/N bahan yang tinggi (> 20) menjadi rasio C/N tanah ($< 20/1$). Ratio C/N bahan organik yang optimum untuk pengomposan berkisar antara 20-50/1. Semakin tinggi rasio C/N bahan maka proses pengomposan juga akan semakin lama, sebab ratio C/N bahan harus diturunkan sampai ratio C/N stabil atau mendekati ratio C/N tanah. Kandungan lignin dalam bahan organik juga memengaruhi kecepatan dekomposisi. Sumber bahan organik ada dua, yaitu sumber bahan organik primer berupa jaringan organik tanaman, seperti daun, ranting, cabang, buah, dan akar dan sumber bahan organik sekunder seperti jaringan organik fauna berupa kotoran dan mikrofauna. Di lahan rawa bahan organik yang umum digunakan digunakan oleh petani, seperti jerami padi, gulma lokal/purun (*Eleocharis dulcis*) dan kotoran sapi. Annisa (2014) melaporkan bahwa karakterisasi dari ketiga jenis bahan organik tersebut ditampilkan pada Tabel 22 di bawah ini.

Tabel 22. Sifat kimia beberapa jenis bahan organik

Parameter	Jenis Bahan Organik					
	J_s	P_s	K_{ss}	K_j	K_p	KK_s
C-org (%)	50,62	47,13	33,13	41,15	41,20	32,93
N-tot (%)	0,546	0,714	0,910	1,456	1,288	1,582
Ratio C/N	92,71	66,01	36,47	28,26	31,99	20,81
P (%)	0,093	0,197	0,114	0,214	0,207	0,590
K (%)	0,899	0,689	0,432	1,390	1,131	0,588
Fe (%)	0,228	1,385	0,278	0,707	3,409	0,549

Sumber: Annisa (2014)

Keterangan:

J_s = jerami segar; P_s = purun (*Eleocharis dulcis*) segar; K_s = kotoran sapi segar; K_j = kompos jerami; K_p = kompos purun; KK_s = kompos kotoran sapi.

Dalam proses dekomposisi bahan organik, terjadi mineralisasi N, pelepasan CO₂, pelepasan asam-asam organik dan akhirnya menghasilkan kompos.

Bahan	Dekomposisi	Kompos	+ Asam-asam organik + CO ₂
Organik	Mineralisasi	N(NH ₄ ⁺ -N, NO ₃ ⁻ -N)	

Kompos Terdekomposisi dalam tanah $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ (N tersedia dalam tanah)

Pengomposan bahan organik akan meningkatkan kandungan hara seperti P, K, Ca dan Mg tanah. Ada beberapa cara pengomposan antara lain: (1) ditimbun pada permukaan tanah yang telah dipadatkan (*kraal methode*), (2) Ditimbun pada galian tanah (50-75 cm), separo di dalam tanah (50-75 cm) dan separo di atas permukaan (*Heat & trench methode*), (3) Langsung pada bak penampungan kotoran ternak (*Bengalore methode*), (4) menggunakan kotak pengomposan dari pagar beton yang tertutup (*anaerob*) selama 18 hari dan seterusnya diberikan aerasi dari lobang-lobang bagian dasar kotak (*Baccari-Italia methode*). Sedangkan Simanungkalit *et al.* (2009) juga melaporkan metode pengomposan ada beberapa macam, yaitu 1) metode Heap, 2) metode Indore, 3) metode Berkeley, dan 4) vermikompos (Simanungkalit *et al.* 2009). Proses pengomposan dapat dipercepat dengan menggunakan bioaktivator perombak bahan organik, seperti *Trichoderma sp.*, teknologi EM-4 yang mengandung bakteri *Lactobacillus*, ragi, actomycetes, dan jamur pengurai selulosa yang dapat membantu proses dekomposisi (Husna 2018).

Untuk mengoksidasi bahan organik mikroorganisme menggunakan akseptor elektron yang tersedia. Dilihat dari perbedaan energi akseptor elektron yang digunakan mengikuti urutan: $O_2 > NO_3^- > Mn^{4+} > Fe^{3+} > SO_4^{2-} > CO_2$ dan oksidan (elektron akseptor) serta reduktan (elektron donor) membatasi terhadap proses oksidasi reduksi pada tanah tergenang. Apabila elektron akseptor lebih banyak dibanding reduktan maka potensial redoks cenderung meningkat (positif), tetapi apabila reduktan (elektron donor) lebih banyak dibanding oksidan maka potensial redoks cenderung menurun (negatif). Kematangan kompos dapat dilihat dari karakteristik fisik (bau, warna, dan tekstur yang telah menyerupai tanah, penyusutan berat mencapai 60%, pH netral, suhu stabil), perubahan kandungan hara (mencapai rasio C/N 10-20), dan tingkat fitotoksisitas rendah (Sulistyawati 2008).

V. REMEDIASI LAHAN RAWA MELALUI PENAMBAHAN BAHAN ORGANIK

Remediasi merupakan upaya untuk menetralkan baik tanah dan air asam yang ada dengan bahan penetral serta menjaga tanah tetap tergenang untuk mencegah terjadinya teroksidasinya pirit. Penggunaan kapur merupakan salah satu cara untuk memperbaiki kemasaman air drainase. Pemulihan tingkat kemasaman dengan kapur atau batuan kapur cukup mahal dan tidak efektif, terutama ketika kandungan *clay*-nya tinggi (Dear *et al.* 2002). Batu kapur juga dapat dilapisi mineral gipsum dan Fe, mengurangi efisiensi disolusi (Dear *et al.* 2002; Hammarstrom *et al.* 2003). Shamsuddin dan Auxtero (1991) merekomendasikan untuk menjaga muka air di atas lapisan pirit, namun hal ini hanya dapat diimplementasikan pada *Sulfic Tropaquepts*, tapi tidak untuk *Sulfaquepts*, substansi toksik kemungkinan dapat terbawa ke permukaan ketika penggenangan terjadi. Solusi remediasi untuk mengurangi kelarutan Al dan Fe serta permasalahan lainnya pada ekosistem tanah di lahan rawa merupakan langkah tepat. Dalam proses remediasi, tumbuhan dapat bersifat aktif maupun pasif dalam mendegradasi bahan polutan. Secara aktif tumbuhan memiliki kemampuan yang berbeda dalam fitoremediasi. Ada yang melakukan proses transformasi, fitoekstraksi (pengambilan dan pemulihan dari kontaminan pada biomassa bawah tanah), fitovolatilisasi, fitodegradasi, fitostabilisasi (menstabilkan daerah limbah dengan kontrol penyisihan dan evapotranspirasi), dan rhizofiltrasi (menyaring logam berat ke sistem akar). Proses reduksi sulfat menghasilkan pembentukan pirit tetapi juga

menghasilkan alkalinitas (bikarbonat) yang dapat menetralkan keasaman. Namun, sedikit yang diketahui tentang efektivitas reduksi sulfat sebagai strategi remediasi pada tanah di lahan rawa yang berpotensi sulfat masam.

Di lahan rawa ketersediaan bahan organik masih rendah karena: (1) terikat melalui pertukaran ligan dan jembatan kation (misalnya Ca^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+}), (2) terfiksasi dalam lapisan *clay*, dan (3) terperangkap dalam agregat tanah (Lützow *et al.* 2006). Bakteri pereduksi sulfat hanya aktif antara pH 5 dan 8 (Neculita *et al.* 2007). Oleh karena itu, penambahan bahan organik hanya dapat merangsang reduksi sulfat jika disertai dengan kenaikan pH menjadi $\text{pH} > 5$. Ketiga, kehadiran akseptor elektron yang bersaing, seperti NO_3^- , Mn (IV), Fe (III), menghambat reduksi sulfat (Ponnamperuma 1972) dengan mengungguli sulfat untuk donor elektron (bahan organik) selama reduksi (Hubert dan Voordouw 2007; Lovley dan Phillips 1987). Setelah penggenangan, bahan organik tanah pertama kali didekomposisi oleh mikroba menggunakan oksigen, NO_3^- , Mn (IV) dan Fe (III) secara berurutan sebagai akseptor elektron (Ponnamperuma 1972). Jika setelah reduksi akseptor elektron ini masih ada bahan organik yang tersedia, reduksi sulfat dapat terjadi (Dugdale *et al.* 1977; Lovley dan Phillips 1987; Ontiveros-Valencia *et al.* 2012; Ponnamperuma 1972). Juga NO_3^- , Mn (IV) dan Fe (III), jika ada, dapat mengoksidasi sulfida (Canfield *et al.* 1993; Hubert dan Voordouw 2007; Myers dan Nealson 1988; Zhang *et al.* 2009). Nitrat menghambat reduksi sulfat juga karena nitrit, produk reduksi nitrat, menghambat reduktase sulfit disimilasi (Haveman *et al.* 2004; Kaster *et al.* 2007). Oleh karena itu, sifat-sifat tanah seperti tekstur, pH, dan konsentrasi akseptor elektron berpengaruh dalam remediasi belerang menggunakan bahan organik.

VI. PENUTUP

Lahan rawa merupakan ekosistem yang rapuh, sehingga dalam pengelolaannya perlu hati-hati dengan memerhatikan karakteristik dan lingkungannya yang bersifat spesifik. Bahan organik berfungsi mempertahankan suasana reduksi dan mengkhelat unsur-unsur meracun dalam tanah, seperti Fe^{2+} (besi *ferro*) yang merupakan hasil reduksi Fe^{3+} . Pengikatan logam atau ion dalam larutan tanah dipengaruhi oleh asam humat dan asam fulvat yang berfungsi sebagai koloid organik. Gugus fenolat dan karboksilat dari asam fulvat membentuk cakar yang mempunyai afinitas yang sangat kuat bagi ion-ion logam trivalen seperti Al dan Fe. Pengelolaan

bahan organik di lahan sulfat masam ini memegang peranan yang cukup penting karena di tanah tergenang bahan organik berperan tidak hanya sebagai sumber hara bagi tanaman tetapi juga merupakan substrat bagi mikroorganisme anaerob.

Untuk membantu sinkronisasi antara ketersediaan hara dengan kebutuhan hara oleh tanaman, dapat dilakukan dengan pencampuran bahan yang berkualitas tinggi dengan yang berkualitas rendah, atau dengan upaya pengomposan. Teknologi pengomposan bahan organik merupakan salah satu cara yang terbaik dalam meningkatkan ketersediaan hara di lahan rawa karena afinitas dari molekul organik, seperti hara P meningkat dari 0.093% menjadi 0.590%; hara K meningkat dari 0.432 menjadi 1.390% dan Fe dari 0.228 sampai 3.409%.

DAFTAR PUSTAKA

- Annisa, W. 2014. Peran Bahan Organik dan Tata Air Mikro Terhadap Kelarutan Besi, Emisi CH_4 , Emisi CO_2 dan Produktivitas Padi di Lahan Sulfat Masam. Disertasi. Universitas Gadjah Mada (tidak dipublikasikan).
- Annisa, W and Dedi Nursyamsi. 2016. Iron dynamics and its relation to soil redox potential and plant growth in acid sulphate soil of south Kalimantan, Indonesia. *Indonesian Journal of Agricultural Science* Vol. 17 No. 1 April 2016: 1–8. DOI: <http://dx.doi.org/10.21082/ijas.v17n1.2016.p.1-8>.
- Baldwin, D. S., and Fraser, M. (2009). Rehabilitation options for inland waterways impacted by sulfidic sediments-A synthesis. *Journal of Environmental Management* 91, 311-319.
- BBSDLP. 2016. Peta Arahana Penggunaan Lahan. Balai Besar Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor. 116 halaman.
- Canfield, D. E., Thamdrup, B., and Hansen, J. W. (1993). The anaerobic degradation of organic matter in Danish coastal sediments: Iron reduction, manganese reduction, and sulfate reduction. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 57, 3867-3883.
- Dear, S.-E., Moore, N. G., Dobos, S. K., Watling, K. M., and Ahern, C. R. (2002). Soil Management Guidelines. In "Queensland Acid Sulfate Soil Technical Manual". Department of Natural Resources and Mines, Indooroopilly, Queensland, Australia.

- Dobermann, A. and T. Fairhurst. 2000. Rice: Nutrient Disorders and Nutrient Management. IRRI. Makati city, The Fillipines 191.
- Fitzpatrick, R. W., Shand, P., and Merry, R. H. (2009). Acid sulfate soils. In "Natural History of the Riverland and Murraylands" (J. T. Jennings, ed.), pp. 65-111. Royal Society of South Australia (Inc.), Adelaide, South Australia.
- Hammarstrom, J. M., Sibrell, P. L., and Belkin, H. E. (2003). Characterization of limestone reacted with acid-mine drainage in a pulsed limestone bed treatment system at the Friendship Hill National Historical Site, Pennsylvania, USA. *Applied Geochemistry* **18**, 1705-1721.
- Haveman, S. A., Greene, E. A., Stilwell, C. P., Voordouw, J. K., and Voordouw, G. (2004). Physiological and Gene Expression Analysis of Inhibition of *Desulfovibrio vulgaris* Hildenborough by Nitrite. *Journal of Bacteriology* **186**, 7944-7950.
- Hubert, C., and Voordouw, G. (2007). Oil Field Souring Control by Nitrate-Reducing *Sulfurospirillum* spp. That Outcompete Sulfate-Reducing Bacteria for Organic Electron Donors. *Applied and Environmental Microbiology* **73**, 2644-2652.
- Husna, N. 2014. Pengelolaan Bahan Organik Di tanah Sulfat Masam. Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal 2014. Palembang 26-27 September 2014. ISBN: 9795875299
- Kaster, K., Grigoriyan, A., Jennneman, G., and Voordouw, G. (2007). Effect of nitrate and nitrite on sulfide production by two thermophilic, sulfate-reducing enrichments from an oil field in the North Sea. *Applied Microbiology and Biotechnology* **75**, 195-203.
- Lovley, D. R., and Phillips, E. J. (1987). Competitive mechanisms for inhibition of sulfate reduction and methane production in the zone of ferric iron reduction in sediments. *Applied and Environmental Microbiology* **53**, 2636-2641.
- Lützow, M. v., Kögel-Knabner, I., Ekschmitt, K., Matzner, E., Guggenberger, G., Marschner, B., and Flessa, H. (2006). Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions – a review.
- Maas. A. 2014. Lahan Rawa sebagai Lahan Pertanian Kini dan Masa Depan. Dalam Buku Pengelolaan Lahan Rawa Untuk Pertanian. Fakultas Pertanian. Universitas Gadjah Mada. Hlm. 67-79.

- Myers, C. R., and Nealson, K. H. (1988). Microbial reduction of manganese oxides: interactions with iron and sulfur. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 52, 2727-2732.
- Neculita, C.-M., Zagury, G. J., and Bussiere, B. (2007). Passive treatment of acid mine drainage in bioreactors using sulfate-reducing bacteria: Critical review and research needs. *Journal of Environmental Quality* 36, 1-16.
- Noor, M. 2004. Lahan Rawa: Sifat dan pengelolaan tanah bermasalah sulfat masam. PT. Raja Grafindo Persada. Jakarta. 241 p.
- Notohadiprawiro, T. 2000. Tanah dan Lingkungan. Cetakan ke-2. Pusat Studi Sumberdaya Lahan (PPSL) univ. Gadjah Mada. Yogyakarta. 187 hal.
- Ontiveros-Valencia, A., Ziv-El, M., Zhao, H.-P., Feng, L., Rittmann, B. E., and Krajmalnik-Brown, R. (2012). Interactions between Nitrate-Reducing and Sulfate-Reducing Bacteria Coexisting in a Hydrogen-Fed Biofilm. *Environmental Science & Technology* 46, 11289-11298.
- Ponnamperuma, F. (1972). The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy* 24, 29.
- Purnomo, E., A. Mursyid, M. Syarwani. A. Jumberi. Y. Hashidoko. T. Hasegawa, S. Honma. and M. Osaki. 2005. Phosphorus solubilizing microorganisms in the rhizosphere of local rice varieties grown without fertilizer on acid sulphate soils. *Soil Sci. Plant Nutr.* (51)5. 2005
- Ritung, S., Wahyunto, K. Nugroho, Sukarman, hikmatullah, Suparto dan C. Tafakresnanto. 2011. Peta Lahan Gambut Indonesia, skala 1:250.000. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, kementerian Pertanian.
- Shamshuddin, J., Auxtero, E.A. 1991. Soil solution composition and mineralogy of some active acid sulfate soils in Malaysia as affected by laboratory incubation with lime. *Soil sci.* 152: 365-376.
- Summers, M. D., S. L. Blunk, B. M. Jenkins. 2003. How Straw Decomposes: Implications for Straw Bale Construction. DRAFT 12/8/2003.
- Sulistiyawati, E., N. Mashita and D. N. Choesin. 2008. Pengaruh Agen Dekomposer Terhadap Kualitas Hasil Pengomposan Sampah Organik

Rumah Tangga. Seminar nasional Penelitian Lingkungan. Universitas Trisakti. Jakarta.

Widjaya Adhi, IPG., K. Nugroho, DS. Ardi, dan AS Karama. 1987. Pengelolaan rawa pasang surut dan lebak. J. Litbang Pertanian V(1).

Zhang, L., Keller, J., and Yuan, Z. (2009). Inhibition of sulfate-reducing and methanogenic activities of anaerobic sewer biofilms by ferric iron dosing. *Water Research* 43, 4123-4132.