

## Residu Jerami Padi untuk Meningkatkan Produktivitas Tanah Sulfat Masam Berkelanjutan

### *Rice Straw Residue to Increase Sustainable Acid Sulphate Soil Productivity*

<sup>1</sup>Ani Susilawati dan Dedi Nursyamsi

<sup>1</sup>Peneliti Badan Litbang Pertanian di Balai Penelitian Lahan Rawa, Jl. Kebun Karet, Loktabat Utara, Banjarbaru 70712, Kalimantan Selatan, e-mail: ani.nbl@gmail.com, ddnursyamsi@yahoo.com

Diterima 27 November 2012; Disetujui dimuat 11 Juni 2013

**Abstrak.** Lahan pasang surut sulfat masam baik aktual maupun potensial cukup luas sebarannya di tanah air sehingga berpotensi untuk perluasan pertanian. Kemasaman tanah, rendahnya ketersediaan hara, dan keracunan besi adalah kendala tanah utama yang sering menghambat pertumbuhan tanaman di tanah ini. Pengelolaan bahan organik adalah salah satu komponen teknologi penting untuk meningkatkan produktivitas tanah sulfat masam yang berkelanjutan. Makalah ini memaparkan potensi residu jerami padi sebagai sumber hara dan amelioran yang mampu meningkatkan produktivitas tanah sulfat masam berkelanjutan. Penggunaan residu jerami padi mempunyai peran yang sangat penting dalam meningkatkan produktivitas tanah sulfat masam karena residu jerami padi dapat menjadi sumber hara tanaman, meningkatkan efisiensi pemupukan P, dan mengurangi tingkat keracunan Fe. Penggunaan residu jerami padi dapat meningkatkan produksi padi sawah pada tanah sulfat masam. Bila residu jerami padi ini dikombinasikan dengan komponen teknologi lainnya seperti penggunaan *decomposer* trichoderma, varietas padi tahan keracunan besi (IR 66 dan Margasari), dan biofilter di saluran air masuk maka hasil tanaman padi akan lebih tinggi.

*Kata kunci : Berkelanjutan / Jerami padi / Produktivitas / Tanah sulfat masam*

**Abstract.** Large amount of acid sulfate soil area both actual and potential acid sulfate soil in Indonesia is potential for agriculture development. Soil acidity, low nutrient availability, and iron toxicity are some constrains that often limit plant growth in the soils. Organic matter management is one of the important technologies to increase sustainable acid sulfate soil productivity. This paper discusses the potency of rice straw residues as a source of nutrients and ameliorant that are able to increase sustainable acid sulfate soil productivity. The use of rice straw residue is a very important role in increasing acid sulfate soil productivity because it could be a source of plant nutrients, improve efficiency of P fertilizer, and reduce Fe toxicity. The use of rice straw residues can increase rice production at acid sulfate soil. If the rice straw residue is combined with other component of technologies, such as the use of decomposer of trichoderma, planting rice variety that is resistant to iron toxicity (IR 66 and Margasari), and a the use of biofilter in the inlet canal, the rice production would be higher.

*Keywords : Sustainability / Rice straw / Productivity / Acid sulphate soil*

### PENDAHULUAN

Lahan rawa terdiri atas lahan rawa pasang surut dan lahan lebak termasuk di dalamnya lahan gambut. Menurut Alihamsyah (2004), luas lahan pasang surut di Indonesia berdasarkan tipologinya adalah sebagai berikut: lahan gambut kurang lebih 10.890.000 ha (54,26%), lahan sulfat masam 6.670.000 ha (33,24%), lahan potensial 2.070.000 ha (10,31%), dan lahan salin 440.000 ha (2,19%). Sementara itu lahan lebak meliputi lebak tengahan, kurang lebih 6.075.000 ha (44,77%), lebak dangkal 4.186.000 ha (30,84%), dan lebak dalam 3.308.000 ha (24,39%).

Kemasaman tanah, rendahnya ketersediaan hara, keracunan besi, dan keracunan sulfat adalah sebagian

kendala sifat tanah yang sering menghambat pertumbuhan tanaman di tanah sulfat masam. Pengelolaan air, pengolahan tanah yang dikombinasikan dengan pemberian bahan organik *in situ* serta penggunaan varietas adaptif pada sistem tata air satu arah dapat meningkatkan produktivitas tanah sulfat masam (Fahmi *et al.* 2006). Selain itu, ameliorasi dan pemupukan merupakan komponen penting dalam memperbaiki kondisi tanah di lahan pasang surut khususnya lahan sulfat masam. Ameliorasi tanah dimaksudkan agar reaksi tanah menjadi lebih baik serta unsur hara yang tersedia di dalam tanah meningkat dan penambahan unsur hara dari luar dapat lebih efektif dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman.

Bahan organik (BO) mempunyai peranan yang penting di lahan rawa. Bahan organik yang diberikan

ke dalam tanah oleh petani biasanya adalah BO *in situ* yang terdapat melimpah dan murah seperti jerami padi. Jerami yang diberikan tersebut biasanya adalah sisa panen dari musim sebelumnya. Lahan sawah menghasilkan jerami sekitar 4-6 t ha<sup>-1</sup> pada setiap musim tanam, bahkan bila petani menanam varietas lokal maka jerami padi yang dihasilkan jauh lebih banyak lagi, yaitu sekitar 7-9 t ha<sup>-1</sup>. Dobermann dan Fairhurst (2000) menyatakan bahwa setiap pengembalian 1 ton jerami sisa panen ke lahan akan mensuplay sekitar 5-8 kg N ha<sup>-1</sup>, 0,7-1,2 kg P ha<sup>-1</sup>, dan 12-17 kg K ha<sup>-1</sup>. Selain itu kompos jerami juga mengandung asam-asam organik seperti asam humat dan fulvat yang memiliki kemampuan mengkelat unsur racun sehingga tidak berbahaya bagi tanaman (Tan 2003).

Makalah ini memaparkan potensi residu jerami padi sebagai sumber hara dan amelioran yang mampu meningkatkan produktivitas tanah sulfat masam.

### MASALAH FISIKO-KIMIA TANAH SULFAT MASAM

Lahan pasang surut adalah lahan yang rejim airnya dipengaruhi oleh pasang surutnya air laut atau sungai. Badan Litbang Pertanian membagi tipe luapan air lahan pasang surut berdasarkan pasang siklus bulanan menjadi tipe luapan A, B, C dan D. Lahan bertipe luapan A selalu terluapi air pasang, baik pada musim hujan maupun musim kemarau, sedangkan lahan bertipe luapan B hanya terluapi air pasang pada musim

hujan saja. Lahan bertipe luapan C tidak terluapi air pasang tetapi mempengaruhi muka air tanahnya dengan kedalaman kurang dari 50 cm, sedangkan lahan bertipe luapan D adalah seperti tipe C hanya kedalaman air tanahnya lebih dari 50 cm. Karakteristik contoh tanah dari berbagai tipologi dan tipe luapan air di lahan pasang surut Kalimantan Selatan dan Tengah disajikan pada Tabel 1.

Tanah sulfat masam mempunyai beberapa permasalahan dari segi kesuburan tanah, antara lain pH tanah dan kandungan hara (khususnya P tersedia) yang rendah, kandungan Fe dan aluminium yang tinggi, genangan air yang sering tidak dapat dikendalikan (Purnomo *et al.* 2005), serta kandungan H<sub>2</sub>S dan Mn yang dapat mencapai tingkat racun (Andriesse and Sukardi 1990). Tanah sulfat masam yang kaya akan bahan-bahan tersebut jika mengalami oksidasi karena didrainase akan menghasilkan logam Fe dalam jumlah yang mencapai racun dan kemasaman yang sangat tinggi (Shamshuddin *et al.* 2004). Secara terperinci beberapa permasalahan tersebut di atas akan dijelaskan dalam uraian berikut.

### Kemasaman Tanah

Kemasaman yang tinggi merupakan penciri utama tanah sulfat masam. Kemasaman menggambarkan kondisi kimiawi, proses kimiawi yang mungkin terjadi, serta akibatnya terhadap keadaan tanah. Reaksi tanah sulfat masam tergolong masam sampai luar biasa

Tabel 1. Sifat fisiko-kimia tanah lapisan atas (0-30) cm pada berbagai tipologi dan tipe luapan air di lahan pasang surut Kalimantan Selatan dan Tengah

Table 1. Physico-chemical properties of soil upper layer (0-30 cm) on various water overflow's typology and type on tidal land of South and Central Kalimantan

Sifat fisiko-kimia tanah	Lahan sulfat masam potensial Tipe A	Lahan sulfat masam aktual		
		Tipe B	Tipe C	Tipe B/C
pH	5,31	3,94	3,70-3,69	3,46-4,74
C-organik (%)	4,55	9,75	7,10-7,50	4,0-6,97
N-total (%)	0,20	0,59	0,27-0,48	0,12-0,21
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> tersedia (ppm)	25,3	-	0,25-23,55	1,57
EC (uS cm <sup>-1</sup> )	561,5	172,0	301,0	40,0
Kation dapat dipertukarkan:				
K (cmol kg <sup>-1</sup> )	0,70	0,40	0,32	2,04
Na (cmol kg <sup>-1</sup> )	4,65	0,15	0,39	2,76
Al (cmol kg <sup>-1</sup> )	0,60	7,50	13,25	5,21
Kejenuhan basa (%)	81	26	-	4,40-28,78
Tekstur:				
Liat (%)	56	36	56	54
Debu (%)	43	61	43	45
Pasir (%)	1	3	1	1

Sumber : Vadari *et al.* (1990) dan Noor *et al.* (1993)

masam, yakni berkisar antara pH 4 (Entisol) dan pH < 3,5 (Inceptisol).

Tanah sulfat masam yang tergenang mempunyai kemasaman tanah nisbi tinggi dengan pH > 4,0, tetapi apabila terjadi pengeringan pH akan turun secara drastis sehingga menjadi sangat masam (Noor 2004). Kemasaman merupakan kendala utama dalam pengembangan pertanian di tanah sulfat masam, karena pada pH < 4,5 terjadi peningkatan konsentrasi  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$  dan  $Mn^{2+}$  sehingga dapat meracuni tanaman. Keracunan unsur-unsur tersebut akan diiringi oleh kekahatan hara P, Ca, Mg, dan K pada tanaman (Notohadiprawiro 2000).

### Besi dan Aluminium Tanah

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. Suriadikarta (2005) menyatakan, proses reduksi atau penggenangan kembali tanah ini akan menyebabkan peningkatan pH, tapi meningkatkan kelarutan  $Fe^{2+}$  dan  $H_2S$  yang juga beracun bagi tanaman. Kelarutan  $Fe^{2+}$  melebihi 500 mg  $l^{-1}$  dan  $H_2S$  melebihi 1 mg  $l^{-1}$  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 ( $Fe^{2+}$ ) 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.

Pada tanah sulfat masam dengan kondisi tergenang, Fe sering bersifat racun bagi tanaman, sedangkan keracunan Al jarang terjadi (Dobermann and Fairhurst 2000). Kadar aluminium (Al) pada tanah sulfat masam berkaitan erat dengan oksidasi pirit yang menghasilkan sulfat sehingga kondisi tanah menjadi sangat masam (pH < 4). Suasana yang sangat masam mempercepat pelapukan mineral alumino-silikat dengan membebaskan dan melarutkan Al yang lebih banyak. Al pada tanah sulfat masam selain dalam bentuk tertukar ( $Al^{3+}$ ) juga terdapat dalam bentuk hidroksil

(Noor 2004). Konsentrasi Al dapat meningkat beberapa kali lipat dengan penurunan pH tanah, dan pada konsentrasi 0,04-0,08 mol  $m^{-3}$  (1-2 mg  $kg^{-1}$ ) dapat meracuni tanaman. Pada tanah sawah yang umumnya mengalami penggenangan umumnya tidak terjadi keracunan Al karena peningkatan pH akibat penggenangan menyebabkan konsentrasi Al menjadi turun (Dobermann and Fairhurst 2000).

### Ketersediaan Hara Tanah

Secara umum ketersediaan unsur hara, baik hara makro maupun mikro pada tanah sulfat masam umumnya rendah. Hal ini disebabkan karena bahan induk tanah yang miskin hara dan kelarutan unsur hara yang rendah pada tingkat kemasaman tinggi. Sebaliknya ketersediaan hara mikro Fe umumnya berlebih bahkan sering kali konsentrasinya mencapai tingkat racun bagi tanaman. Selain unsur Fe, unsur Al juga ada kalanya meracuni tanaman di lahan sulfat masam ini.

Tabel 1 menunjukkan bahwa kadar C organik tanah sulfat masam aktual (tipe luapan B-C) berkisar antara 4,0-9,75% termasuk sedang hingga tinggi sedangkan tanah sulfat masam potensial (tipe luapan A) sekitar 4,55% termasuk sedang. Kadar N total berkisar antara 0,12-0,59% (sedang-tinggi), P tersedia berkisar antara 0,25-25,3 ppm  $P_2O_5$  (rendah-tinggi), dan K dapat dipertukarkan berkisar antara 0,32-2,04  $Cmol_{(+)}kg^{-1}$  (rendah-tinggi). Hasil penelitian pada tanah sulfat masam lainnya menunjukkan bahwa ketersediaan P tanah rendah sampai sangat rendah. Demikian pula dengan ketersediaan hara lainnya, seperti: Ca, Mg, K, Cu, Zn, dan B tanah ini rendah-sangat rendah (Notohadiprawiro 2000).

### AMELIORASI DAN PEMUPUKAN

Uraian di atas menunjukkan bahwa masalah utama yang membatasi pertumbuhan tanaman di tanah sulfat masam adalah kemasaman tanah, keracunan besi, dan kekahatan hara. Keracunan besi terjadi pada tanah sulfat masam yang disawahkan. Dengan demikian untuk pengembangan pertanian di lahan sulfat masam, permasalahan tersebut di atas perlu diatasi terlebih dahulu. Ameliorasi dan pemupukan mutlak diperlukan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Ameliorasi dapat dilakukan melalui pemberian bahan amelioran (pembaik tanah) agar kondisi tanah kondusif untuk

pertumbuhan tanaman, sedangkan pemupukan atau pemberian pupuk bertujuan untuk menambah unsur hara yang masih kurang agar pertumbuhan tanaman optimal.

Ameliorasi di tanah sulfat masam dimaksudkan agar reaksi tanah menjadi lebih baik, unsur hara yang tersedia di dalam tanah meningkat, dan penambahan unsur hara dari luar lebih efektif dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman. Bahan amelioran dapat berupa kapur (kalsit atau dolomit), bahan organik, abu sekam, pupuk kandang, dan lain-lain. Penggunaan bahan organik sangat dianjurkan karena selain dapat memperbaiki kondisi tanah, juga dapat menyediakan unsur hara bagi tanaman.

Untuk tanah sulfat masam yang disawahkan bahan organik yang diberikan ke dalam tanah oleh petani biasanya adalah bahan organik *in situ* seperti jerami padi. Jerami ini biasanya adalah bahan organik sisa panen musim sebelumnya, diperkirakan dalam setiap musim tanam diperoleh jerami sekitar 4-6 t ha<sup>-1</sup>, bahkan untuk varietas padi lokal jerami dapat dihasilkan sekitar 6-9 t ha<sup>-1</sup> setiap musim. Jumlah ini cukup potensial untuk dijadikan sebagai bahan amelioran karena jerami dapat memberikan kontribusi hara ke dalam tanah setelah melapuk (Dobermann and Firehurst 2000; Fahmi *et al.* 2009). Selain itu kompos jerami juga mengandung asam-asam organik seperti asam humat dan fulvat yang memiliki kemampuan mengkelat unsur racun sehingga tidak berbahaya bagi tanaman (Tan 2003).

Ameliorasi dan pemupukan harus mempertimbangkan jenis komoditas yang akan diusahakan dan tipologi lahan yang akan digunakan. Tanaman kedelai memerlukan kapur lebih banyak dibandingkan jagung dan padi karena kedelai lebih sensitif terhadap kemasaman dibandingkan komoditas lainnya. Demikian pula tipologi lahan sulfat masam memerlukan kapur lebih tinggi dibandingkan potensial karena kemasamannya juga lebih tinggi. Selanjutnya Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa (Balittra) telah menyusun rekomendasi ameliorasi dan pemupukan untuk berbagai komoditas dan tipologi lahan rawa berdasarkan hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Takaran bahan amelioran dan pupuk untuk tanaman padi dan palawija disajikan pada Tabel 2 sedangkan tanaman hortikultura dan industri pada Tabel 3.

Tabel 2. Takaran amelioran dan pupuk pada tanaman padi dan palawija di lahan sulfat masam

Table 2. Dosage of ameliorant and fertilizer on rice and crops on acid sulphate land

Tanaman	Takaran amelioran dan pupuk			
	Kapur/abu serbuk gergaji	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	..... kg ha <sup>-1</sup> .....			
Padi	1.000-3.000	67,5-135	45-70	50-75
Kedelai	1.000-2.000	22,5 <sup>a)</sup>	45	50
Jagung	500	90	45-90	50
K. tanah	1.000-2.000	22,5	60	50

Sumber: Balittra (2003)

Perlu diberi rhizobium sebanyak 15 g kg<sup>-1</sup> benih

### PERANAN RESIDU JERAMI PADI DALAM MENINGKATKAN PRODUKTIVITAS TANAH SULFAT MASAM

Jerami padi adalah bagian vegetatif dari tanaman padi (batang, daun, dan tangkai malai) yang tetap dibiarkan di lahan sawah pada saat panen. Hasil-hasil penelitian yang dilaksanakan oleh Badan Litbang Pertanian, perguruan tinggi, dan lembaga penelitian lainnya menunjukkan bahwa residu jerami padi mempunyai peranan yang sangat penting dalam meningkatkan produktivitas tanah sulfat masam. Peranan tersebut antara lain meliputi: sebagai sumber hara tanaman, peningkatan efisiensi pemupukan P, dan penurunan keracunan besi.

#### Sumber Hara Tanaman

Pengembalian bagian tanaman sisa panen ke lahan sangat penting dalam mempertahankan produktivitas tanah terutama di lahan yang digunakan secara intensif. Hasil penelitian Indrayati *et al.* (2005) menunjukkan bahwa pengembalian semua komponen biomas sisa panen ke lahan sawah setara dengan pemberian jerami 5 t ha<sup>-1</sup>. Pemberian sisa jerami pada tanaman padi memberikan pengaruh setelah 30 hari aplikasi (Duong *et al.* 2006) dan meningkatkan ketersediaan hara makro dan mikro bagi tanaman (Aguilar *et al.* 1997). Hal ini karena jerami mengandung berbagai hara makro dan mikro yang bila jerami terdekomposisi maka hara-hara tersebut akan tersedia bagi tanaman. Kandungan hara jerami padi segar dan terdekomposisi disajikan pada Tabel 4.

Tabel 3. Takaran amelioran dan pupuk pada tanaman hortikultura dan industri di lahan sulfat masam

Table 3. Dosage of ameliorant and fertilizer on horticulture and industrial plant on acid sulphate land

Tanaman	Takaran amelioran dan pupuk				
	Kapur	P. kandang	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	kg ha <sup>-1</sup>				
Cabai	1.000-2.000	5.000	67,5	112,5	50
Tomat	1.000-2.000	5.000	135	90	60
Bawang merah	1.500	10.000	90	90	75
Sawi	1.000	5.000	112,5	90	60
Kubis	1.000	5.000	112,5	90	60
Terong	1.000	5.000	67,5	90	60
Timun	1.000	5.000	67,5	70	50
Kacang panjang	1.000	5.000	30	45	60
Buncis	1.000	5.000	30	45	60
Lada <sup>a)</sup>	3	0	0,250	0,400	0,300
Kelapa <sup>b)</sup>	0,800	0	0,675	0,375	0,750

Sumber: Balittra (2003)

<sup>a)</sup> Satuan per pohon dan ditambah 50 g CuSO<sub>4</sub> dan ZnSO<sub>4</sub> per pohon; <sup>b)</sup> Satuan per pohon dan ditambah 60 g kieserit pohon<sup>-1</sup>.

Tabel 4. Kandungan hara makro dan mikro jerami segar dan hasil dekomposisi dengan berbagai decomposer

Table 4. Macro and micro nutrient content of fresh straw and its decomposition result using various decomposer

Perlakuan	C	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Zn	Fe	Cu
	%										
Jerami segar <sup>1)</sup>	36,74	0,87	0,18	1,79	0,25	0,18	0,08	-	-	-	-
JP + EM-4 <sup>2)</sup>	-	1,96	0,21	1,05	1,55	0,30	-	0,088	0,112	0,139	Tu
JP + TH <sup>2)</sup>	-	2,03	0,63	2,31	1,83	0,26	-	0,071	0,110	0,158	Tu
JP + CT <sup>2)</sup>	-	1,83	1,25	5,68	2,41	1,02	-	0,097	0,310	0,178	0,031

Sumber: <sup>1)</sup>Adiningsih (1999) dan <sup>2)</sup>Yelianti *et al.* (2009)

Keterangan: JP = jerami padi; EM-4 = Effective microorganism-4; TH = *Trichoderma harzianum*; CT = cacing tanah *Lumbricus rubellus*)

Ketersediaan hara dari residu jerami padi tidak terlepas dari proses mineralisasi dan imobilisasi serta aktivitas mikroba tanah. Mineralisasi akan membebaskan sejumlah hara tanaman (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, dan lain-lain), sedangkan imobilisasi akan mengikat hara (terutama N, P, dan S) yang tadinya tersedia menjadi bentuk imobil untuk sementara waktu dimana prosesnya tergantung nisbah C/N, C/P, dan C/S (Stevenson 1982). Dengan demikian pengelolaan residu jerami padi harus memperhatikan proses-proses tersebut.

Pelepasan N dari bahan organik berlangsung melalui proses mineralisasi yang diikuti oleh proses aminisasi (1), amonifikasi (2), dan nitrifikasi (3), dimana semua tahapan proses tersebut tergantung aktivitas mikroba. Secara ringkas proses tersebut adalah sebagai berikut:

N-organik + enzim (mikroorganisme) → senyawa amino (R-NH<sub>2</sub>) + CO<sub>2</sub> + Energi ..... (1)

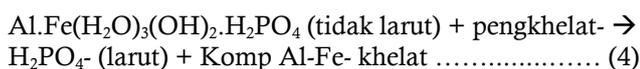
R-NH<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O → NH<sub>3</sub> + R - OH + Energi  
NH<sub>3</sub> + H<sup>+</sup> → NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ..... (2)

2NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + 3 O<sub>2</sub> → 2 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> + 2H<sub>2</sub>O + 4 H<sup>+</sup> + Energi  
2 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> + O<sub>2</sub> → 2 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + Energi ..... (3)

Dekomposisi senyawa amino (hasil aminisasi) oleh bakteri heterotrop menghasilkan NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (proses ini disebut amonifikasi). Selanjutnya amonium tersebut dioksidasi oleh mikroba menjadi nitrat (proses ini disebut nitrifikasi) melalui dua tahapan. Tahap pertama oksidasi NH<sub>4</sub><sup>+</sup> menghasilkan NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (Foth 1995) dan tahap selanjutnya oksidasi NO<sub>2</sub><sup>-</sup> menjadi NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Oksidasi tersebut dilakukan oleh bakteri autotrof yang dikenal dengan nama *Nitrobacter* dan *Nitrosomonas* dimana

intensitas proses ini tergantung dari jumlah N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> yang tersedia untuk bakteri penitrifikasi (Sanchez *et al.* 2001).

Pelepasan hara P dari bahan organik dapat secara langsung melalui proses mineralisasi atau secara tidak langsung melalui pembebasan P yang terfiksasi. Stevenson (1982) menjelaskan bahwa ketersediaan P di dalam tanah dapat meningkat melalui mekanisme: (1) Mineralisasi bahan organik melepaskan P mineral (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>); (2) Aksi asam organik atau senyawa pengkelat lain (hasil dekomposisi) melepaskan fosfat yang berikatan dengan Al dan Fe menjadi bentuk terlarut. Reaksinya adalah sebagai berikut:

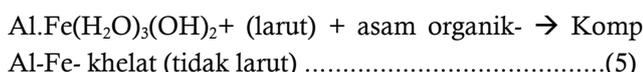


(3) Pengurangan jerapan fosfat karena asam humat dan asam fulvat melindungi sesquioksida dengan memblokir situs pertukaran; (4) Pengaktifan proses penguraian bahan organik asli tanah; dan (5) Pembentukan kompleks fosfo-humat dan fosfo-fulvat yang dapat ditukar dan lebih tersedia bagi tanaman sebab jerapan fosfat ini lebih lemah.

Pelapukan bahan organik disamping dapat menyediakan hara N dan P, juga berperan dalam meningkatkan ketersediaan hara S tanah. Mineralisasi bahan organik menghasilkan sulfida yang berasal dari senyawa protein tanaman, seperti senyawa sestein dan metionin. Senyawa ini merupakan asam amino penting yang mengandung sulfur penyusun protein (Mengel and Kirkby 1987). Sebagian belerang hasil mineralisasi bahan organik, bersama dengan N, diubah menjadi bentuk lebih mantap selama pembentukan humus. Di dalam bentuk mantap ini, S terlindung dari pembebasan cepat (Brady 1990).

### Peningkatan Efisiensi Pemupukan P

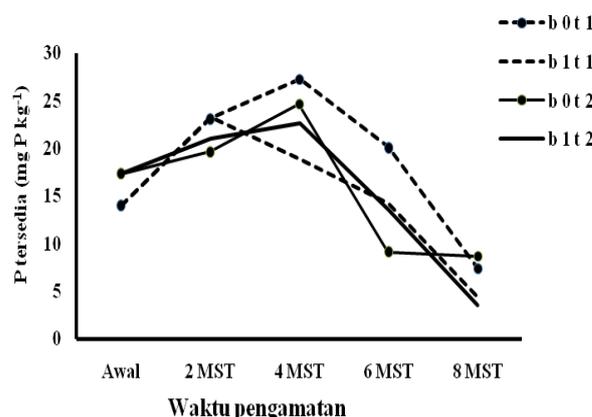
Dekomposisi bahan organik menghasilkan asam-asam organik yang mampu mengimobilisasi kation yang bersifat racun dalam tanah (misal Al dan Fe) sehingga menjadi tidak berbahaya bagi tanaman (Stevenson 1986) melalui mekanisme reaksi pembentukan senyawa kompleks dan khelat. Reaksinya adalah sebagai berikut:



Selain itu asam organik hasil dekomposisi bahan organik juga mampu membebaskan P yang difiksasi Fe dan Al menjadi bentuk larut sehingga tersedia bagi tanaman. Mekanisme proses ini melalui pertukaran anion seperti yang telah ditunjukkan oleh reaksi (4).

Fenomena imobilisasi unsur racun dan pelepasan P terfiksasi menyebabkan tanaman tumbuh dengan baik sehingga serapan hara dan produksi tanaman meningkat. Peningkatan ketersediaan hara P dari pelepasan P terfiksasi dapat mengurangi kebutuhan P yang harus ditambahkan dari pupuk. Dengan demikian maka kedua fenomena ini baik secara langsung maupun tidak langsung dapat meningkatkan efisiensi pupuk P.

Dinamika ketersediaan P akibat penambahan residu jerami padi, Fahmi *et al.* (2009) telah melaksanakan penelitian pada tanah sulfat masam yang disawahkan di Belandean, Kabupaten Barito Kuala, Propinsi Kalimantan Selatan. Hasilnya menunjukkan bahwa konsentrasi P tersedia dalam tanah yang selalu diberi bahan organik (t<sub>1</sub>) lebih tinggi daripada dalam tanah yang tidak diberi bahan organik (t<sub>2</sub>). Selanjutnya pada 2 dan 4 minggu setelah tanam (MST), P tersedia meningkat pada perlakuan bahan organik, kemudian konsentrasinya menurun kembali pada saat 6 dan 8 MST (Gambar 1). Hal ini menunjukkan bahwa pemberian residu jerami padi meningkatkan P tersedia tanah dan ketersediaan P mencapai puncak pada 4 MST.



Sumber: Fahmi *et al.* (2009)

Gambar 1. Dinamika perubahan fosfat tersedia dalam tanah akibat pemberian bahan organik (BO) pada tanah yang selalu diberikan BO (t<sub>1</sub>) dan tidak pernah diberikan BO sebelumnya (t<sub>2</sub>)

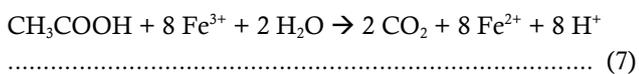
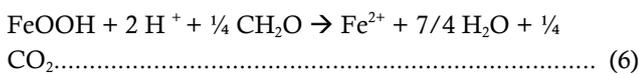
Figure 1. The dynamic of phosphate availability change in the soil resulted by adding organic matter to the plots which organic matter was always added (t<sub>1</sub>) versus the plots which organic matter has never been added (t<sub>2</sub>)

Penelitian Neue dan Lin (1989) pada tanah yang memiliki kandungan BO yang berbeda-beda menghasilkan pola yang sama dengan hasil penelitian Fahmi *et al.* (2009). Hasil penelitian Barrow (1989) juga menunjukkan pola yang relatif serupa. Barrow (1989) menyebutkan bahwa terjadinya penurunan ketersediaan posfat setelah melewati titik kelarutan tertinggi pada tanah tergenang disebabkan beberapa hal, antara lain: penjerapan P secara perlahan oleh fase padatan tanah; degradasi anion organik sehingga jerapan P oleh fase padatan tanah meningkat; imobilisasi P oleh mikroorganisme; dan pengendapan P dalam bentuk Fe-fosfat.

### Penurunan Keracunan Besi

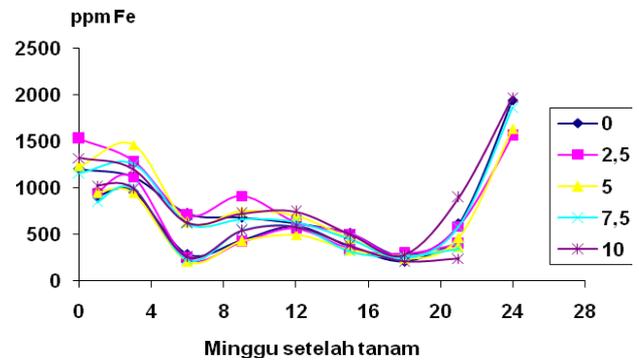
Asam-asam organik hasil dekomposisi residu jerami padi sangat berperan dalam penurunan keracunan besi di tanah sulfat masam. Proses dekomposisi pada kondisi aerob dapat berjalan sepuluh kali lebih lambat dibandingkan kondisi anaerob (Dent 1986). Proses dekomposisi secara anaerob dapat menghasilkan asam organik golongan volatile fatty acids (VFA) seperti asetat, propionat, and butirrat (Watanabe 1984); VFA dan phenolic acid, dengan urutan sesuai konsentrasi dari tinggi ke rendah : asetat > butirrat > format > fumarat > propionat > valerat > suksinat dan laktat (Tsutsuki 1984). Asam asetat adalah asam organik yang paling dominan dihasilkan dalam proses dekomposisi di tanah-tanah tergenang.

Tanah sulfat masam adalah tanah mineral yang memiliki kandungan Fe sangat tinggi sehingga sering meracuni tanaman. Pemberian bahan organik dapat meningkatkan konsentrasi Fe<sup>2+</sup> ataupun menurunkan konsentrasi Fe<sup>2+</sup> dalam tanah tergantung tingkat kematangan bahan organik tersebut (Gao *et al.* 2002; Duckworth *et al.* 2009). Pemberian bahan organik yang masih relatif mentah cenderung meningkatkan konsentrasi Fe<sup>2+</sup> karena mendorong terjadinya reduksi Fe<sup>3+</sup> menjadi Fe<sup>2+</sup> yang diilustrasikan dalam reaksi berikut (Breemen an Buurman 2002; Kyuma 2004) :



Sebaliknya bahan organik yang relatif matang dapat menyebabkan penurunan konsentrasi Fe<sup>2+</sup>. Hal ini terjadi karena proses khelatiasi (reaksi 5) lebih dominan dibandingkan proses reduksi Fe<sup>3+</sup> menjadi

Fe<sup>2+</sup> oleh asam organik (reaksi 6 dan 7). Gambar 2 menunjukkan bahwa konsentrasi Fe tanah sulfat masam berfluktuasi mengikuti umur tanaman. Mulai awal pertumbuhan tanaman hingga umur 18 MST konsentrasi Fe cenderung menurun dan pemberian residu jerami padi meningkatkan konsentrasi Fe tanah. Selanjutnya konsentrasi Fe tanah meningkat pesat hingga umur 24 MST dan pemberian jerami padi menurunkan konsentrasi Fe tanah.



Sumber : Jumberi *et al.* (2007)

Gambar 2. Dinamika konsentrasi Fe di tanah sulfat masam akibat pemberian jerami padi

Figure 2. Dynamics of Fe concentration on acid sulphate soil resulted by straw adding

Selain kuantitas, kualitas bahan organik juga menentukan kelarutan Fe dalam tanah. Breemen dan Buurman (2002) menyatakan bahwa bahan organik yang banyak mengandung bahan yang mudah terdekomposisi akan meningkatkan laju proses reduksi. Selain berpengaruh secara langsung, bahan organik juga berpengaruh secara tidak langsung terhadap konsentrasi Fe dalam tanah melalui perantara tumbuhan. Bahan organik yang masih mentah cenderung menyebabkan tanaman mengalami keracunan asam-asam organik sehingga mempengaruhi kemampuan tanaman tersebut dalam mengoksidasi Fe di sekitar perakarannya.

Perbedaan konsentrasi Fe<sup>2+</sup> di sekitar perakaran padi juga dapat disebabkan oleh perbedaan varietas dan umur tanaman. Tanaman yang lebih toleran dan berumur lebih tua cenderung memiliki kemampuan oksidasi yang lebih baik sehingga konsentrasi Fe<sup>2+</sup> disekitar perakarannya lebih rendah. Misalnya varietas Margasari (varietas unggul lahan pasang surut) mempunyai kelebihan relatif resisten/adaptif terhadap

kondisi tanah sulfat masam seperti keracunan besi (Khairullah *et al.* 1998).

Jumberi *et al.* (2007) telah melakukan penelitian pengaruh pemberian residu jerami padi terhadap tingkat keracunan besi tanaman padi varietas Batanghari pada tanah sulfat masam dimana semakin tinggi tanaman mengalami keracunan besi maka skor keracunan besi semakin tinggi pula. Hasilnya menunjukkan bahwa skor keracunan besi berkurang dengan meningkatnya dosis jerami yang diberikan (Tabel 5). Hal ini diduga berhubungan dengan adanya peran positif dari kemampuan bahan organik dalam mengkhelat unsur Fe menjadi imobil sehingga tingkat racun Fe berkurang dan tanaman tumbuh lebih baik.

Tabel 5. Skor keracunan besi tanaman padi varietas Batanghari pada umur 4 MST

Table 5. *Ferrum toxicity score of Batanghari rice variety at four weeks after planting*

Takaran jerami padi t ha <sup>-1</sup>	Skor keracunan besi
5,0	7
7,5	6
10,0	5
12,5	4
15,0	3

Sumber: Jumberi *et al.* (2007)

### PENINGKATAN PRODUKSI PADI

Berbagai penelitian yang telah dilakukan oleh Badan Litbang Pertanian dan lembaga penelitian lainnya menunjukkan bahwa penggunaan residu jerami padi mampu meningkatkan produksi padi di tanah sulfat masam. Penggunaan residu jerami padi bila

dikombinasikan dengan komponen teknologi lainnya seperti pupuk hayati, biofilter, varietas tahan keracunan besi, dan lain-lain lebih efektif dalam meningkatkan produksi padi di tanah ini. Dengan demikian maka pengelolaan residu jerami padi untuk meningkatkan produktivitas tanah sulfat masam adalah merupakan salah satu bagian komponen teknologi yang harus diintegrasikan dengan komponen teknologi lainnya.

Indrayati dan Jumberi (2002) melaporkan bahwa penggunaan residu jerami padi dapat meningkatkan hasil beberapa varietas padi. Diantara perlakuan yang dicoba, ternyata jerami padi yang dikomposkan dan dikombinasikan dengan decomposer trichoderma memberikan hasil gabah tertinggi. Selanjutnya juga diantara varietas yang dicoba ternyata IR66 menghasilkan gabah paling tinggi dibandingkan varietas lainnya (Tabel 6). Tampak bahwa penggunaan jerami padi yang dikombinasikan dengan decomposer trichoderma dan varietas IR66 memberikan hasil padi tertinggi.

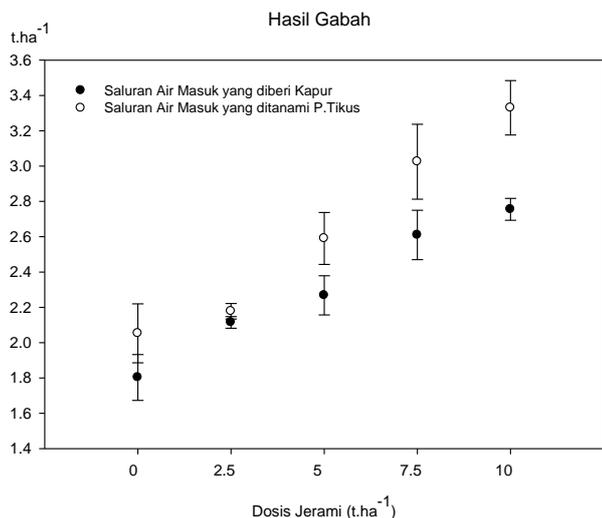
Untuk melihat pengaruh pemberian residu jerami padi yang dikombinasikan dengan pengelolaan air, Indrayati *et al.* (2007) telah melaksanakan percobaan di tanah sulfat masam KP Belandean dengan menggunakan padi varietas Margasari. Hasilnya menunjukkan bahwa produksi padi meningkat dengan meningkatnya takaran residu jerami padi. Demikian pula perlakuan saluran air yang ditanami purun tikus menghasilkan padi jauh lebih tinggi dibandingkan kontrol (Gambar 3). Tanaman purun tikus di sini berfungsi sebagai biofilter yang dapat menyerap unsur racun seperti kation Fe<sup>2+</sup> dalam air irigasi sehingga pertumbuhan dan hasil tanaman meningkat. Selanjutnya penelitian ini juga menunjukkan bahwa kombinasi pemberian residu jerami padi yang dikombinasikan dengan penggunaan biofilter di saluran air masuk memberikan hasil padi yang terbaik.

Tabel 6. Hasil gabah pada berbagai cara pengelolaan jerami padi di lahan pasang surut sulfat masam, Unit Tatas, Kalteng

Table 6. *Rice yield of various straw managements on tidal acid sulphate land, Tatas Unit, Central Kalimantan*

Perlakuan	Varietas			
	IR 64	Lalan	IR 66	Membramo
	..... t ha <sup>-1</sup> .....			
Tanpa Jerami	1,89	2,31	2,77	2,17
Jerami dibakar	2,64	3,01	3,17	2,60
Jerami dikompos	3,08	3,39	3,02	2,90
Jerami + Trichoderma	2,94	3,48	3,60	3,03

Sumber: Indrayati dan Jumberi (2002)



Sumber : Indrayati *et al.* (2007)

Gambar 3. Hasil padi pada perlakuan residu jerami padi yang dikombinasikan dengan dua saluran air masuk yang berbeda pada tanah sulfat masam KP Balandean, Kabupaten Barito Kuala, Propinsi Kalimantan Selatan

Figure 3. Rice yield of plots treated with straw residue combined with two different irrigation inlet on acid sulphate soil in KP Balandean, Barito Kuala, South Kalimantan

Tabel 7. Hasil dan indeks panen 3 varietas padi yang diberi perlakuan kompos jerami dan purun tikus, rumah kaca Balittra, Banjarbaru, MH 2010

Table 7. Three rice variety yield and index of rice treated with straw and purun tikus compos, at Balittra greenhouse, Banjarbaru, Rainy Season 2010

Perlakuan	Hasil/rumpun	Indeks panen
Kontrol	8,25 e	0,31 d
Kontrol air diganti	13,25 d	0,43 c
5 t ha <sup>-1</sup> J + 0 t ha <sup>-1</sup> PT	18,95 c	0,49 bc
5 t ha <sup>-1</sup> J + 2,5 t ha <sup>-1</sup> 1 PT	23,19 b	0,55 ab
5 t ha <sup>-1</sup> J + 5,0 t ha <sup>-1</sup> PT	25,42 a	0,59 a
5 t ha <sup>-1</sup> J + 10,0 t ha <sup>-1</sup> PT	18,79 c	0,47 c
Inpara-1	21,19 a	0,52 a
Inpara-2	19,33 b	0,48 a
IR64	13,40 c	0,42 b

Keterangan: J = kompos jerami; PT = kompos purun tikus

Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda pada taraf 0,05 DMRT

Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Izhar Khairullah *et al.* (2011) menunjukkan hal yang sama, yaitu bahwa penggunaan jerami padi dapat meningkatkan hasil padi. Pemberian kompos 5 t ha<sup>-1</sup> jerami + 5,0 t ha<sup>-1</sup> purun tikus mampu menghasilkan gabah tertinggi dan varietas Inpara-1 menunjukkan

lebih tahan terhadap keracunan besi, pertumbuhan tanaman terbaik dan hasil gabah tertinggi (Tabel 7).

## KESIMPULAN

1. Penggunaan residu jerami padi mempunyai peran yang sangat penting dalam meningkatkan produktivitas tanah sulfat masam karena dapat menjadi sumber hara tanaman, meningkatkan efisiensi pemupukan P, dan mengurangi tingkat keracunan Fe.
2. Penggunaan residu jerami padi dapat meningkatkan produksi padi sawah pada tanah sulfat masam. Apabila residu jerami padi dikombinasikan dengan penggunaan decomposer trichoderma, varietas padi tahan keracunan besi (IR 66 dan Margasari), dan biofilter di saluran air masuk, hasil tanaman padi menjadi lebih tinggi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dr. Arifin Fahmi, S.P, M.Sc. atas komentar dan referensi yang diberikan selama perbaikan artikel ini serta Ir. Linda Indrayati sebagai penanggung jawab kegiatan TA 2010 "Pengaruh dekomposisi jerami padi di lahan rawa terhadap sifat fisika dan kimia tanah".

## DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih. 1999. Peranan Efisiensi Penggunaan Pupuk untuk Melestarikan Swasembada Pangan. Orasi Pengukuhan Ahli Peneliti Utama. Puslittanak, Bogor.
- Aguilar, J., M. Gonzalez, and I. Gomez. 1997. Microwaves as an energy source for producing magnesia-alumina spinel. *Journal of the Microwave Power and Electromagnetic Energy* 32(2):74-79.
- Alihamsyah, T. 2004. Potensi dan Pendayagunaan Lahan Rawa untuk Peningkatan Produksi Padi. *Ekonomi Padi dan beras Indonesia. Dalam Kasrino, Pasandaran dan Fagi (Penyunting). Badan Litbang Pertanian, Jakarta.*
- Andriese, W. and M. Sukardi. 1990. Survey Component : Introductions, Objective and Out line Papers Workshop on Acid Sulphate Soils in the Humid Tropics. AARD-LAWOO. Jakarta.
- Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa (Balittra). 2003. Lahan Rawa Pasang Surut Pendukung Ketahanan pangan dan Sumber Pertumbuhan Agribisnis. Monograf.
- Barrow, N.J. 1989. Relating chemical process to management system. *Dalam Phosphorus Requirement for Sustainable Agriculture in Asia and Oceania. IIRI. Los Banos, Laguna, Philippines.* pp 199-210.
- Brady, N.C. 1990. *The Nature and Properties of Soil.* Mac Millan Publishing Co., New York.

- Breemen, N.V. dan P. Buurman. 2002. Soil Formation, 2<sup>nd</sup> edition. Kluwer Academic Publisher. Dordrecht. USA. 404 p.
- Dent, D. L. 1986. Acid Sulphate Soils. A baseline for research and development. ILRI. Wageningen Publ. No. 39 The Netherlands.
- Dobermann, A. and T. Fairhurst. 2000. Rice ; Nutrient Disorders and Nutrient Management. IRRI. Makati city, The Phillipines. 191 p.
- Duckworth, O.W., S.J.M. Holmstrom, J. Pena, dan G. Sposito. 2009. Biogeochemistry of iron oxidation in circumneutral freshwater habitat. Chemical Geology. 260; 149 – 158.
- Duong. L.M., Jeewon.R, Lumyong. S dan Hide. K.D. 2006. DGGE coupled with ribosomal DNA gene phylogenies reveal uncharacterized fungal phylotypes. Fungal diversity 23: 121-138 .
- Fahmi. A, A. Susilawati, dan A. Jumberi. 2006. Dinamika Unsur Besi, Sulfat dan Fosfor serta Hasil Padi Akibat Pengolahan Tanah, saluran Kemalir dan Pupuk Organik di Lahan Sulfat Masam. Jurnal Tanah Tropika. Vol. 12 No. 1
- Fahmi, A., B. Radjaguguk, dan B. H. Purwanto. 2009. Kelarutan posfat dan ferro pada tanah sulfat masam yang diberi bahan organik jerami padi. Jurnal Tanah Tropika. 14 (II); 119 - 125.
- Foth, H. D. 1995. Fundamental of Soil Science, Sixth Edition. Terjemah. Dasar-dasar Ilmu Tanah. Fakultas Peternakan Universitas Diponegoro. Gadjah Mada Universitas Press.
- Gao, S., K. K. Tanji, S. C. Scardaci, dan A. T. Chow. 2002. Comparison of redox indicators in a paddy soil during rice-growing season. Soil Science Society of America Journal. 66; 805 – 817.
- Indrayati, L., Koesrini, Khairulah, I., Fahmi., A. 2005. Teknologi Peningkatan Produktivitas Lahan Sulfat Masam Potensial. *Dalam* Laporan Akhir. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa.
- Indrayati, L., Koesrini, Khairulah, I., Muhammad. 2007. Teknologi Pengelolaan Lahan, Hara, Air Dan Amelioran Pada Lahan Sulfat Masam Potensial *Dalam* Laporan Akhir. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa.
- Indrayati, L. dan A. Jumberi. 2002. Pengelolaan jerami padi pada pertanaman padi di lahan pasang surut sulfat masam. *Dalam* Pengelolaan Tanaman Pangan Lahan Rawa. Balitbangtan, Puslitbangtan, Bogor.
- Jumberi, A., A. Fahmi, and A. Susilawati. 2007. Potensi pengelolaan jerami dan penggunaan varietas unggul adaptif sebagai komponen teknologi peningkatan produktivitas tanah sulfat masam. Prosiding Seminar Nasional Sumber Daya Lahan Pertanian. Bogor, 14 – 15 September 2006. Buku III. Balai Besar Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Pp. 305 – 314.
- Khairullah I, M Imberan dan S Subowo. 1998. Adaptabilitas dan akseptabilitas varietas padi di lahan rawa pasang surut Kalimantan Selatan. Kalimantan Scintae. 47 ; 38 – 50.
- Khairullah I, D. Indradewa, P. Yudono, dan A. Maas. 2011. Pertumbuhan dan Hasil Tiga Varietas Padi pada Perlakuan Kompos Jerami dan Purun Tikus (*Eleocharis Dulcis*) di Tanah Sulfat Masam yang Berpotensi Keracunan Besi. Agroscentiae 18(2): 108-115.
- Kyuma, K. 2004. Paddy Soil Science. Kyoto University Press dan Trans Pacific Press. Melbourne. Australia. P 279.
- Mengel, K. and Kirby, E.A. 1987. Principles of Plant Nutrition . International Potash Institute. Bern. Swizerland.
- Neue, H. U. And Z. Z. Lin. 1989. Chemistry of adverse flooded soils. Pp 225-242. *In* Phosphorus Requirement for Sustainable Agriculture in Asia and Oceania. IRRI. Los Banos, Laguna, Philippines.
- Noor, M. 2004. Lahan Rawa.; Sifat dan Pengelolaan Tanah Bermasalah Sulfat Masam. PT Raja Grafindo Persada. Jakarta. Hlm 241.
- Notohadiprawiro, T. 2000. Tanah dan Lingkungan. Cetakan ke-2. Pusat Studi Sumberdaya Lahan (PPSL) Univ. Gadjah Mada. Yogyakarta. 187 hal.
- 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.
- Sanchez-Monedero M.A., A. Roig, C. Paredes, and M.P. Bernal. 2001. Nitrogen Transformation during organic waste composting by the rutgers system and its effect on pH, EC and maturity of composting mixtures. Biores Technol 78:301-308.
- Shamshuddin, J., M. Sarwani, S. Fauziah, and I. Van Ranst. 2004. A Laboratory study on pyrite oxidation in acid sulphate soils. Commun. Soil. Sci. Plant Anal. 35 (1 & 2):117-129.
- Stevenson, F.T. 1982. Humus Chemistry. John Wiley and Sons, Newyork.
- Stevenson, F. J. 1986. Cycles of Soil Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients. A Wiley-Intersci. Publ. John Wiley & Sons. Inc. 380 p.
- Suriadikarta, D.A. 2005. “Pengelolaan lahan sulfat masam untuk usaha pertanian”. Jurnal Litbang Pertanian 24 (1).
- Tan, K.H. 2003. Humic Matter in the Soil and the Environment; Principles and controversies. Marcel Dekker, Inc. New York, USA.
- Tsutsuki, K. 1984. Volatile product and low-moleculare of organic matter in submerged soils. Pp 329- 344. *In* Organic Matter and Rice. Intenational Rice Research Institute. Los Banos Laguna, Philippines.
- Vadari, T., K. Subagyono, H. Suwardjono, and A. Abas. 1990. The effect of water management and soil amelioration on water quality and soil properties in acid sulphate soils at Pulau Petak Delta, Kalimantan. Paper workshop on acid sulphate soils ini humid tropics, 20-22 November 1990. AARD-LAWOO. Bogor.
- Watanabe, I. 1984. Anaerobic decomposition of organic matter in flooded rice soils. Pp 237-258. *In* Organic Matter and Rice. Intenational Rice Research Institute. Los Banos Laguna, Philippines.
- Yelianti. U, Kasli, M. Kasim, dan E.F. Husin. 2009. Kualitas Pupuk Organik Hasil Dekomposisi Beberapa Bahan Organik dengan Dekomposernya. Jurnal Akta Agrosia 12(1):1-7.

